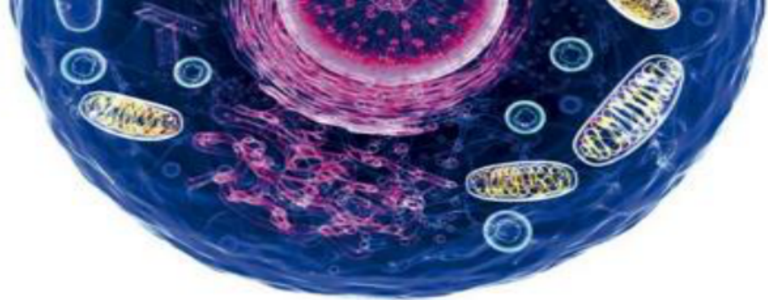


ANTONIO VALENZUELA

Prólogo de la DRA. SARI ARPONEN

ACTIVA TUS MITOCONDRIAS

EL SECRETO *para una vida más* LONGEVA



Índice

SINOPSIS

En un mundo donde la salud y el bienestar son prioritarios, cada vez más personas están interesadas en explorar las maravillas ocultas dentro de su propio cuerpo. Una de sus claves se encuentra en un pequeño orgánulo celular, las mitocondrias, unas diminutas «fábricas» encargadas de convertir los nutrientes que consumes en energía para tu organismo.

En este libro descubrirás como una alimentación adecuada, el ejercicio físico, el descanso reparador y la gestión del estrés pueden estimular la salud mitocondrial y aumentar tu energía vital. Aprenderás sobre los nutrientes esenciales que alimentan estas estructuras y cómo incorporarlos de manera práctica en tu dieta diaria. Además, encontrarás valiosas estrategias para aprovechar al máximo tu potencial genético y promover una vejez saludable.

Te sorprenderás al descubrir cómo pequeños cambios en tu estilo de vida pueden tener un impacto significativo en tus mitocondrias. Desde la alimentación hasta el uso de suplementos como el magnesio, pasando por cambios en tu rutina y desafíos para tu cuerpo, como el ayuno, la exposición al frío y al calor o realizar ejercicios de fuerza.

Activa tus mitocondrias

El secreto para una vida más longeva

ANTONIO VALENZUELA



Este libro está dedicado a:

Los que sienten que no encajan.
Los que nadan a contracorriente.
Los que han estado perdidos.
Los que desafían el *statu quo*.
Los que ven las cosas de forma diferente.
Los que se esfuerzan por lo que vale la pena.
Los que conversan con sus plantas.
Los que contemplan atardeceres.
Los que se maravillan con la belleza de la naturaleza.
Los que cultivan su jardín, como quería Voltaire.
Los que agradecen que en la Tierra haya música.
Los que acarician a un animal dormido.
Los que escuchan sin juzgar.
Los que conocen sobre el gran entusiasmo, la gran devoción.

Como diría Jorge Luis Borges, a los justos.
Como diría Steve Jobs, a los locos.
Porque son esas personas, justas y algo locas, las que están salvando el mundo.

Prólogo

Sería fantástico que pudieras tener un Antonio Valenzuela en tu vida, día a día.

Lo ideal sería tomarte con él un té verde con cúrcuma y jengibre por las mañanas, mientras os exponéis un rato al sol de primera hora y meditáis un rato. O quizá podríais salir a correr en zona dos (en el libro aprenderás qué es eso) por un frondoso bosque, charlando sobre mitocondrias, microbiota y electrones. También un bañito en un río escuchando a los pájaros, disfrutando del aire limpio y del poder de la hormesis sería un planazo cuando la compañía es buena.

Pero claro, Antonio sólo hay uno. Los que tenemos la suerte de tenerlo por amigo nos sentimos afortunados cada vez que quedamos con él. Antonio es una persona terapéutica por muchos motivos. Uno es que es la personificación del concepto «buena gente». Si buscas el término en un diccionario, podría salir perfectamente su foto. Pero esto, que en el fondo es lo que importa, es sólo una de sus muchas cualidades.

Afortunadamente, Antonio se dedica a divulgar con una pasión desbordante. Tiene una curiosidad infinita y una enorme capacidad para aprender y relacionar conceptos complejos y fascinantes del ámbito de la salud (bueno, y de otros campos).

Esto de por sí no sería tan especial si no fuera porque él sabe cómo contártelo todo de una manera sencilla, con ejemplos y analogías. Además, sabe cómo traducir a la práctica diaria todos esos conocimientos que va acumulando y transmitiendo. Lo puedes escuchar en cualquiera de las entrevistas que le han realizado y que puedes encontrar en internet (te darán ganas de escuchar todas las que le han hecho).

Es fácil entender, por lo tanto, que su primera obra *Hijos de la adversidad* esté siendo un exitazo. Ahora tienes en tus manos su libro sobre las mitocondrias. ¿Y por qué te tendrían que preocupar las mitocondrias? Si eso es biología celular especializada, podrás pensar.

Pues por eso mismo. Tu salud depende de tus mitocondrias y de su estado. La energía con la que te levantas, te mueves, piensas o llevas a cabo cualquier acto vital por mínimo que sea depende de que tus mitocondrias funcionen bien. Cómo procesas la energía y otros componentes de los alimentos también depende de tus mitocondrias. El envejecimiento y las enfermedades que nos quitan calidad (o años) de vida se acompañan de un proceso que no te gustaría sufrir: la disfunción mitocondrial.

Mira, Antonio, muchos otros compañeros y yo, divulgadores en el ámbito de la salud te podemos decir mil y una veces: «Come sano,

muévete, duerme bien, conecta con la naturaleza…». Podemos repetirte cada día un montón de recomendaciones; es más, a lo mejor incluso aplicas ya algunas de ellas. De hecho, Antonio te regala un montón de recetas prácticas y totalmente aplicables en este libro. Desde cómo y cuándo comer y moverte hasta qué suplementos pueden ser útiles cuando de salud mitocondrial hablamos, pasando por cuestiones como la luz o la hormesis de frío o calor.

Sin embargo, y esto quizá ya lo sabes por experiencia propia, aplicar estos consejos no es fácil si no los interiorizas. ¿Y qué necesitas para hacerlo? Que tu cerebro los entienda. Que aprendas a múltiples niveles, tanto conscientes como inconscientes, cuáles son las consecuencias de un estilo de vida moderno enfermizo. Que las mitocondrias de tus neuronas participen de los procesos cognitivos que hagan que te convenzas de que tu salud está en grandísima medida en tus manos.

Y para enseñarte todo esto tenemos a Antonio. Transmite todo, todo y todo (bueno, o casi, que leerlo «todo» sobre cualquier tema es imposible) lo que ha leído sobre salud y mitocondrias y cómo hackearlas para disfrutar más y mejor de la vida. Luego lo ha escrito en este libro para contárselo al mundo y que todos tengamos acceso a esta información, capturada, procesada, digerida y empaquetada en 24 capítulos llenos de valiosa información.

Este libro no es para leerlo en una horita corta y quedarte con dos ideas superficiales. Es para que lo saborees y lo disfrutes, de a poco, a sorbos. Incluso, coge rotuladores o bolis de colores y hazte un mapa mental, para que no se te olvide nada.

Si eres un impaciente de la vida, quizá quieras saltar directamente a los últimos capítulos con las recetas de Antonio para disfrutar de una vida más plena y longeva. Hazlo si así te place, pero después, vuelve al principio y descubre el poder que hay en ti, dentro de todas y cada una de tus células (bueno, en los glóbulos rojos no).

Las mitocondrias son un verdadero regalo milagroso de hace miles de millones de años. Ahora, en nuestra sociedad moderna, las maltratamos y nos olvidamos de ellas y de su importancia. ¡Basta ya de hacerlas sufrir! Toma acción y activa tus mitocondrias.

Y si algún día tienes la suerte de conocer a Antonio y tomarte un té verde con él, seguro que le darás las gracias por descubrirte todo lo que estás a punto de leer.

SARI ARPONEN, doctora en Ciencias Biomédicas,
especialista en Medicina Interna y experta en microbiota

Prefacio

«Leemos para saber que no estamos solos», decía C. S. Lewis en *Tierras de penumbra*. Cuando abrimos un libro, ya no estamos solos, aunque no haya personas alrededor. Me gusta pensar que la literatura es una especie de conversación con alguien que no está, pero que nos habla.

Gracias a mi admirada Nuria Pérez aprendí, en uno de sus pódcast, un concepto de la tradición celta llamado *anam cara*. *Anam* significa 'alma' y *cara*, 'amigo'. El *anam cara* es el amigo del alma, alguien con quien no tienes secretos y que saca lo mejor de ti.

Los celtas creían que los *anam cara* estaban unidos para siempre porque el alma no conoce los límites del tiempo ni del espacio. Por eso, aunque no nos conozcamos, nos conocemos. Así que, por favor, tómate este libro como la conversación con tu amigo Antonio.

No necesitas que un gurú te diga que lo estás haciendo todo mal y que tu vida es una mierda para venderte después un libro lleno de frases hechas, tópicos y atajos que no conducen a ningún sitio pero que, según nuestro iluminado de turno, llevarán tu vida a una especie de nirvana.

Hay partes enormes de la vida adulta de las que casi nadie habla en los libros de salud y bienestar, desarrollo personal y autoayuda. Partes de nuestras vidas que incluyen aburrimiento, rutinas que nos desagradan, pequeñas frustraciones y, por supuesto, esa odiosa sensación de no llegar a todo por más que nos pasemos el día corriendo.

En un día normal de tu vida adulta, seguro que te levantas bien temprano. Ya desde la mañana, las obligaciones te exigen gran parte de tu energía, te pasas el día estresado en un trabajo nada fácil y después llegas a tu casa en la que, por supuesto, hay más cosas que hacer. Tu jornada termina muy tarde y lo único que quieres es cenar rico, relajarte un par de horas y meterte en la cama porque al día siguiente hay que levantarse temprano y volver a hacerlo todo y todo bien. Y, por supuesto, todo a gran velocidad.

Yo no te voy a dar recetas milagrosas, ni tampoco venderte soluciones mágicas. Ni siquiera voy a pedirte que cambies, ya que eres una persona perfecta tal y como eres. Lo único que pretendo es que aprendas a valorarte en el presente para que desde ahí construyas la persona que quieras ser en tu futuro.

La distancia que nos separa entre lo que somos y los que nos gustaría ser es a menudo una gran fuente de insatisfacción y de frustración. No te lo dice el «Antonio experto», te lo dice la persona que pasó por ahí y que aún pasa de vez en cuando.

La única diferencia es que yo he adquirido herramientas para no

entrar en bucles mentales paralizantes y limitantes y he incorporado hábitos saludables en mi día a día. Pero no ha sido de la noche a la mañana. Créeme... Ha llevado su tiempo. Años de trabajo interior, muchas formaciones y lo aprendido de las innumerables personas a las que he acompañado en sus procesos de cambio.

No pretendo que lo hagas todo perfecto, ni siquiera que lo hagas todo. Quédate con aquello que resuene contigo y aplícalo en tu vida. Si sacas una idea útil de este libro, todo el esfuerzo que he puesto en escribirlo (y no ha sido poco, pues, literalmente, me ha costado un cólico nefrítico) habrá merecido la pena.

Sólo me queda darte las gracias de corazón, mi querido *anam cara*, por invertir lo más preciado que tienes, tu tiempo, en leer este libro. Hagamos que valga la pena.

Primera parte

TODO DEPENDE DE LA ENERGÍA

1

Somos energía

La energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas. Es una definición absurdamente simple, sí, pero nos sirve como punto de partida a todo lo que estás a punto de descubrir en este libro. Si te paras a pensar, todo lo que funciona depende de la energía. Desde los medios de transporte a los aparatos electrónicos y los analógicos, nada puede cumplir su función sin ella. Incluso una simple escoba funciona gracias a la energía que nosotros le imprimimos al moverla. En una escala global, la energía es motor del avance de las sociedades: sólo hay que ver cómo muchos países, a lo largo de la historia, han entrado en conflictos bélicos por hacerse con preciados recursos energéticos como el petróleo, el gas o el carbón.

Pero si hay algo en lo que la energía resulta imprescindible es en la supervivencia de los organismos vivos. La ley de la entropía, que rige el universo, predice la tendencia de todo lo que existe a destruirse de una forma natural e inevitable. Todo en el universo tiende a la nada, al vacío absoluto. Lo que permite a los organismos vivos frenar el avance inexorable de esa destrucción es la energía, un suministro constante de energía capaz de garantizar su existencia. La vida es algo mágico.

Puede sonar aterrador, pero la realidad es que cada día que pasa nuestro organismo se deteriora levemente. Es la ley del universo. Necesitamos energía diaria para construir y renovar cada una de las partes de nuestro organismo que es presa de la entropía. Eso es la vida: la capacidad de desafiar al mismo universo convirtiendo su energía en un elemento que pueda ser usado para luchar contra la nada. Las especialistas en ese milagro son unos seres muy particulares: **las mitocondrias**.

Como ya hemos dicho, sin energía no hay vida. Pero hay muchos tipos de seres vivos. Los hay tan simples como las bacterias, que no son más que células aisladas, muy primitivas (llamadas procariotas), y los hay tan complejos como nuestra especie, en la que alrededor de 37,2 billones de células modernas (llamadas eucariotas), equipadas con sofisticados instrumentos de producción de energía, las mitocondrias, cooperan entre sí.

Siempre me ha fascinado la idea ser una inmensa colonia de células funcionando todas a una en pos de un bien común. El funcionamiento de un organismo multicelular es algo casi mágico: millones de células deciden cooperar y diferenciarse en distintos

tejidos para crear un ser superior a ellas de forma aislada. Una planta. Un gato. Una persona. Tú. Cualquiera de estos ejemplos sólo es posible con la cooperación de toda esa ingente colonia de células. Solamente tienes que ver el desastre que se produce cuando una de ellas rompe con su compromiso y decide independizarse... Esto es el inicio del cáncer.

Para que un ser pluricelular pueda existir necesita de una tremenda eficiencia energética. Y para ello son imprescindibles las mitocondrias, encargadas de producir de manera limpia la energía suficiente para existir y para, cada día, enfrentarse a ese deterioro que va creándonos la ley de la entropía. Tus mitocondrias, esos orgánulos diminutos dentro de cada una de tus células, combaten día tras día contra la fuerza de todo el universo.

1.1. Energía para el cambio

Marco Aurelio, el emperador filósofo, solía decir que la calidad de nuestra vida dependía de la calidad de nuestros pensamientos. Yo no podría estar más de acuerdo. Si te detienes a pensar un minuto, caerás en la cuenta de que el devenir de nuestra vida depende, en un alto porcentaje, de las decisiones que tomamos. Qué y cuándo comemos, la hora a la que nos vamos a la cama, las personas con las que nos relacionamos, los libros que leemos, cómo de activos físicamente somos... Todo son decisiones y todas impactan en la calidad de nuestra vida.

Pero no nos vamos a engañar: decidir lo que más nos conviene a menudo es muy difícil. Todos sabemos, a grandes rasgos, qué es comer bien, que deberíamos hacer más ejercicio, que tendríamos que dedicar tiempo a meditar y a pasear por la naturaleza... Sin embargo, el ritmo frenético de la vida moderna consume toda nuestra energía y, encima, nos hace sentir como unos vagos perezosos por no dedicar más tiempo a cuidarnos.

Igual que es imposible entender la fisiología y la genética de un pez sin estudiar el agua, es imposible entender al ser humano sin estudiar el contexto en el que vive. En *Esto es agua*, un discurso para los graduados de la Universidad de Kenyon, David Foster Wallace narró un pasaje en el que dos peces nadan uno junto al otro cuando se topan con un pez más viejo avanzando en sentido contrario. Éste los saluda y dice: «Buen día muchachos, ¿cómo está el agua?», antes de seguir su camino. Los dos peces siguen nadando hasta que, después de un tiempo, uno se gira y le pregunta al otro: «¿Qué demonios es el agua?».

Para no caer en el error de esos dos jóvenes peces, incapaces de identificar el entorno en el que vivían, nosotros debemos tener en cuenta nuestro contexto. Y la realidad es que vivimos en una sociedad

enferma, rodeados de toxicidad tanto en el aire como en los alimentos, además de, por supuesto, en las emociones y los pensamientos. Vivimos en un ambiente que promueve y estimula hábitos y comportamientos que conducen a la enfermedad. Escaleras mecánicas y ascensores por doquier, falta de carriles bici, una vida frenética enfocada en producir que nos aleja de dedicar tiempo a las personas que nos importan, entre las que estamos nosotros mismos. Nos bombardean con publicidad sobre alimentos deliciosamente insanos: que si las patatas fritas más crujientes, la hamburguesa más sabrosa, el helado con más *toppings*. Esto es especialmente grave en el caso de los más pequeños, que ven hasta treinta mil anuncios televisivos de comida en un año.[1]

El contexto influye en todo. Los determinantes socioambientales y las condiciones de vida determinan la salud. Estar tan acostumbrados a ellos que no nos damos cuenta no es necesariamente bueno. Recuerda las palabras del pensador Jiddu Krishnamurti: «No es un signo de buena salud estar bien adaptados a una sociedad enferma».

No podemos cambiar esta sociedad que nos hace enfermar o, al menos, no de una manera inmediata. No podemos cambiar el contexto. Tenemos que cambiar nosotros, lo que implica tomar decisiones de salud individuales y a menudo en contra de lo que hace la mayoría. Conviene repetirse este mantra: «Decisiones difíciles = Vida fácil. Decisiones fáciles = Vida difícil».

Nuestro cerebro es el que decide. Es el timonel de la salud, la máquina más compleja del universo. Pero un cerebro sin energía no podrá decidir con claridad, mucho menos si ello supone dejar de seguir al rebaño. Cuanto peor estamos, menos energía tenemos. Por ello, debemos potenciar la capacidad de nuestro organismo de producir esa energía necesaria para cambiar. Esta responsabilidad recae sobre nuestras mitocondrias

Nuestro objetivo no debería ser **añadir años a nuestra vida, sino vida a nuestros años**. Vivir más, llenar nuestra existencia de vida, de experiencias enriquecedoras. Debemos vivirlas, disfrutarlas y, por supuesto, poder recordarlas. Es nuestro cerebro el que decide y recuerda, el que otorga un sentido al tiempo que permanecemos vivos. Y necesita toda la energía que podamos darle.

1.2. Las mitocondrias: las creadoras de «la fuerza»

Nací en 1983. Pasé mi infancia cogiendo prestadas fregonas en casa, imaginando que eran espadas láser con las que emulaba ser un caballero Jedi. Los míticos héroes inventados por George Lucas en la saga cinematográfica *Star Wars* eran unos seres extraordinarios con una inteligencia, una moral y unas habilidades mayores que el resto de las personas. El secreto de sus grandes poderes residía en la

«Fuerza» que, en palabras del maestro Jedi Obi-Wan Kenobi, «es un campo de energía creado por todos los seres vivos. Nos rodea y nos penetra, une la galaxia».

En las películas, la Fuerza es la fuente interna de energía que impulsa a todos los seres vivos. Se trata de un poder otorgado por los midiclorianos, unos pequeños seres que habitaban en el interior de los Jedi, como explica este diálogo de *Star Wars: Episodio I, La amenaza fantasma*:

> **Anakin**: Maestro, señor… Escuché a Yoda hablar sobre los midiclorianos. Me he estado preguntando qué son los midiclorianos.
>
> **Qui-Gon**: Los midiclorianos son una forma de vida microscópica que reside dentro de todas las células vivas.
>
> **Anakin**: ¿Viven dentro de mí?
>
> **Qui-Gon**: Dentro de tus células, sí. Y somos simbiontes con ellos.
>
> **Anakin**: ¿Simbiontes?
>
> **Qui-Gon**: Formas de vida que viven juntas para beneficio mutuo. Sin midiclorianos, la vida no podría existir y no tendríamos conocimiento de la Fuerza. Continuamente nos hablan, diciéndonos la voluntad de la Fuerza. Cuando aprendas a aquietar tu mente, escucharás que te hablan.

La tradición de *Star Wars* sugiere que los midiclorianos son formas de vida microscópicas que viven simbióticamente dentro de las células de todos los seres vivos, con números más altos presentes en individuos con la capacidad de sentir la Fuerza. Quizá te preguntes por qué te estoy contando todo esto. La realidad es que en el diálogo que acabas de leer hay mucha menos ciencia ficción de la que imaginas.

Según el doctor Mark Hom, profesor de Biología de la Universidad Johns Hopkins, George Lucas se inspiró en las mitocondrias para el concepto de midicloriano. Y razón no le falta: el diálogo entre Qui-Gon y Anakin es una descripción detallada de las mitocondrias, las antiguas bacterias simbióticas (sí, has leído bien, antiguas bacterias) que ahora son las centrales energéticas de nuestras células.

Descubiertas por primera vez en 1857 por el fisiólogo Albert von Kölliker, y posteriormente bautizadas como «bioblastos» (gérmenes de vida) por Richard Altmann en 1886, no fueron conocidas como «mitocondrias» hasta doce años después, cuando el zoólogo alemán Carl Benda las rebautizó acudiendo al griego *mitos* (‘filamento’, ‘hilo’) y *chondrion* (‘grano’). Tuvieron que pasar más de cincuenta años hasta que, en 1948, se descubriera su función gracias a Hogeboom, Schneider y Palade. Las mitocondrias son un orgánulo tan asombrosamente complejo que hoy en día no dejan de sorprender a la

comunidad científica por las importantes funciones que cumplen en el contexto del metabolismo celular.

En *Star Wars*, el mítico Luke Skywalker hace alusión a la Fuerza como «la energía entre todas las cosas, una tensión, un equilibrio que une el universo». Eso mismo es lo que hacen las mitocondrias: captan la energía del universo presente en los alimentos, el oxígeno y en la radiación electromagnética del sol y la convierten en la Fuerza, que, en nuestro caso, es el elemento ATP del que hablaremos más adelante y que nos da la vida.

Antes de que te cuente la estructura y las funciones de las mitocondrias, vamos a detenernos un poco en la increíble historia de amor que nos explica su origen. Como decían los caballeros Jedi: «Qué la Fuerza te acompañe». Aunque para ello tendrás que cuidar de tus mitocondrias.

1.3. El origen: todo surgió de una historia de amor

> El cosmos es todo lo que es o lo que fue o lo que será alguna vez.
>
> CARL SAGAN, astrofísico

De niño, *Star Wars* no era lo único que veía en la televisión. Dos de mis series favoritas eran *Cosmos* y *Érase una vez los inventores*. Esta última, que narraba la historia de los grandes descubrimientos de la humanidad y la vida de aquellas personas que los hicieron posibles, incluía en uno de mis capítulos favoritos la vida de Charles Darwin y cómo llegó a desarrollar la teoría de la evolución de las especies. En *Cosmos, un viaje personal*, con el genial Carl Sagan como guionista principal y narrador, aprendí sobre la historia del universo y el origen de la vida. Pero, sobre todo, la serie supuso para mí toda una lección de humildad al hacerme comprender el pequeñísimo lugar que ocupa nuestra especie y nuestro planeta en el universo.

Procariotas versus eucariotas

Se estima que las primeras formas de vida aparecieron en nuestro planeta unos 3.000 millones de años atrás. Por aquel entonces, la composición de la atmósfera terrestre era muy diferente a la actual. Apenas había oxígeno, por lo que toda la vida del planeta se limitaba a bacterias anaeróbicas, muy similares a las actuales, formadas por una única célula de tipo procariota. Al contrario que las eucariotas, éstas no poseen orgánulos, pero sí membrana periférica. El material

del núcleo se encuentra flotando en el citoplasma y son capaces de producir energía sin él.

El panorama cambió por completo hace alrededor de 2.400 millones de años, cuando entraron a escena las cianobacterias, unas bacterias más grandes y modernas capaces de producir la fotosíntesis y liberar con ella ingentes cantidades de oxígeno. Millones de años antes de la extinción más famosa que solemos nombrar, la de los dinosaurios, la aparición de las cianobacterias cambió la química atmosférica hasta el punto de desencadenar la conocida como «Gran Oxidación», «Catástrofe del Oxígeno» u «Holocausto del Oxígeno». Se produjo una extinción masiva de la mayoría de los organismos anaeróbicos de la época, para quienes el oxígeno era tóxico.

¿Cómo hemos llegado de aquellas cianobacterias a la tremenda diversidad de animales y plantas de nuestro planeta? Según la teoría de la evolución, todo es fruto de un largo proceso de competición por la supervivencia entre seres vivos. Los mejor adaptados, gracias a la aparición de mutaciones aleatorias que les proporcionaban una ventaja competitiva, eran los que sobrevivían y eran capaces de transmitir sus genes a su descendencia.

La teoría de la evolución de las especies me fascinó desde el minuto uno. Creo que resulta esencial comprender de dónde venimos para entender cómo nos comportamos y hacia dónde vamos. Con los años, sin embargo, me atreví a admitir que la teoría de Darwin no me satisfacía del todo y creo que tampoco al gran naturalista inglés. Él mismo admitía no haber logrado explicar la gran incógnita de la procedencia de las variaciones que impulsa la evolución, dejándolo todo en manos del azar de las mutaciones genéticas aleatorias.

Lynn Margulis, la científica rebelde

Es en este punto donde entra en escena Lynn Margulis, de soltera Lynn Alexander, uno de los personajes más relevantes en la historia de la biología. En la década de 1960, esta joven bióloga estadounidense tuvo una idea revolucionaria sobre la evolución de la vida y el origen de las células modernas. Según Margulis, la competición por la supervivencia, junto con el azar de las mutaciones genéticas aleatorias, no bastaban por sí solos para explicar la capacidad de la evolución de generar rasgos nuevos en los seres vivos. Ella postuló que quizá la pieza que faltaba para completar el puzle, la materia oscura de la biología que servía para conectarlo todo, era la cooperación mutua entre especies, conocida como «simbiosis». En otras palabras: que el origen de lo que hoy somos reside en el amor y no tanto en la competición.

Margulis comprendió la importancia de los minúsculos orgánulos presentes en las células de plantas y animales, especializados en

obtener energía usando la luz del sol y el oxígeno. Conocidos como «cloroplastos» y «mitocondrias», respectivamente, por su estructura y sus funciones, así como por la particularidad de contener su propio y pequeño ADN, recordaban poderosamente a esas bacterias que evolucionaron para adaptarse a la nueva atmósfera rica en oxígeno.

Aquélla por entonces joven bióloga se planteó si sería posible que nuestras mitocondrias fueran en realidad descendientes de antiguas bacterias, reclutadas en un pasado lejano por otras células para usarlas como centrales de energía internas. Un fenómeno semejante era ya bien conocido y tenía un nombre en biología: la «simbiosis», una asociación de mutuo beneficio. Gracias a ella surgieron las células eucariotas que nos componen, más avanzadas que las procariotas que formaban las bacterias.

En 1970, Margulis desarrolló su teoría en el libro *Origin of Eukaryotic Cells*, donde expuso cómo de aquella gran extinción surgió el amor. Cuando un solitario microbio anaeróbico antiguo (probablemente una *arquea*) absorbió a una desprevenida bacteria aeróbica primitiva (probablemente del género *rickettsia*) que había evolucionado para adaptarse a la nueva atmósfera rica en oxígeno, comenzó la magia del amor. Aquella arquea decidió no usar como alimento a esa mitocondria prehistórica y, en su lugar, le propuso una relación de mutuo beneficio.

La arquea protegía y alimentaba a la mitocondria y, a cambio, ésta producía la energía. El tiempo consolidó la relación entre ambas hasta el punto de que la mitocondria traspasó la mayoría de sus genes al núcleo de la célula que la hospedaba. Sólo se quedó con el ADN esencial para cumplir su papel vital: **producir energía**.

Conocido como **ADN mitocondrial (ADNmt)**, al ser circular, se parece más al de ciertas bacterias que al de las células eucarióticas, que tienen la forma característica de doble hélice. Es un genoma muy pequeñito de tan sólo 37 genes que codifican las 13 proteínas necesarias para la **fosforilación oxidativa**, o, en otras palabras, la síntesis de ATP a partir del oxígeno que respiramos. Además, posee 22 ARN de transferencia y 2 ARN ribosomales. Más allá de especificidades científicas, lo fundamental aquí es que la simbiosis con la arquea permitió a la mitocondria quitarse todo el equipaje de sobra que la estorbaba en el trabajo de producir energía. Como un atleta de élite que delega responsabilidades en el resto del equipo, gracias a la simbiosis, la mitocondria pudo explotar todo su potencial.

Al desprenderse de toda función que no fuese la de producir energía, su capacidad energética se disparó exponencialmente. Por primera vez, creaba suficiente combustible como para construir tejidos y órganos más complejos, impulsando la aparición de los organismos multicelulares. El largo camino evolutivo hacia la vida compleja que

hoy conocemos acababa de comenzar.

Gracias a su descubrimiento, Lynn Margulis se ha convertido en uno de los personajes más relevantes de la biología del siglo XX. Recogió las denostadas ideas de pioneros como Ivan Wallin y Konstantin Mereschkowski, que habían postulado la simbiosis entre organismos simples como fuerza creadora de seres más complejos, y las dotó de solidez científica.

Margulis no sólo nos dejó valiosas enseñanzas a nivel evolutivo, sino que también nos regaló su historia vital como ejemplo de superación. Sus propuestas, en los márgenes de la ciencia establecida, le granjearon fama de rebelde. Sus investigaciones fueron rechazadas hasta en quince revistas científicas. En una de sus solicitudes de publicación recibió la siguiente réplica: «Su investigación es basura. No se moleste en volver a solicitarlo». Cuando su trabajo finalmente se publicó, no tuvo ninguna repercusión inicial. Pero ella nunca desistió.

No fue hasta 2015 cuando un equipo de investigadores de la Universidad Heinrich Heine de Düsseldorf, en Alemania, dirigido por el biólogo evolutivo William F. Martin, dotó de credibilidad a la teoría de la endosimbiosis de Margulis. Para ello rastrearon el origen de los genes bacterianos que forman parte integral del ADN presente en el núcleo celular de los organismos superiores, incluidos los humanos. Tras comparar casi un millón de genes de 55 especies eucariotas y más de 6 millones de genes de procariota, demostraron la contribución genética de los ancestros de las mitocondrias al material genético de los organismos pluricelulares modernos.

El tiempo y la ciencia han acabado por dar la razón a la científica rebelde que añadió el factor de la cooperación entre especies a los postulados de Darwin. Ojalá hubiera vivido para verlo, ya que falleció en 2011, tras una intensa vida personal que tampoco se quedó atrás de su rebeldía intelectual: a los cuarenta y dos años ya se había divorciado dos veces, la segunda del químico Thomas Margulis; la primera, del astrónomo Carl Sagan.

Lynn Margulis propuso elegantemente una historia compartida entre bacterias y mitocondrias, una historia en la que la cooperación es fundamental. Esta relación se ha convertido desde entonces en la piedra angular de la biología celular moderna y hoy podemos extraer interesantes conclusiones de ella.

La primera ha sido ignorada durante mucho tiempo por la comunidad científica e incide en la interacción de nuestras mitocondrias y el resto de las bacterias que nos componen, es decir, nuestra microbiota. Más adelante desarrollaremos cómo la relación entre ambas sustenta en buena medida nuestra salud y nuestra longevidad. Lo que beneficia a nuestra microbiota beneficia a nuestras mitocondrias, ídem para lo que las perjudica.

Como acabamos de ver, las mitocondrias son bacterias y poseen su propio ADN que, por supuesto, no es humano sino bacteriano. Otra conclusión que se deriva de la obra de Margulis es que en ese ADN mitocondrial se asienta la mayor parte de la información genética que codifica la producción de energía de nuestro organismo. Dado que todo depende de la energía, podríamos decir que el ADNmt es la piedra filosofal de nuestra salud.

Por si fuera poco, el ADN mitocondrial tiene otra característica que lo convierte en único. El ADN mitocondrial del padre no se transmite a la descendencia. Como demostró Douglas C. Wallace, este genoma tan especial sólo se hereda de la madre. Es más, todo el ADN mitocondrial de nuestra especie proviene de una misma mujer. La madre común de toda la humanidad vivió en África Oriental hace unos 200.000 años y es conocida como «Eva mitocondrial». Esto no quiere decir que fuera la primera mujer, pero sí el ancestro materno más reciente común a toda la humanidad actual, **la madre de nuestra especie**. Nos creemos muy importantes, incluso únicos, pero lo cierto es que todos venimos del mismo sitio.

Lo que tiene que quedar claro es que el ADN mitocondrial es especial e importante a partes iguales, por lo que tenemos que protegerlo como se merece de toda la toxicidad de la vida moderna que pueda dañarlo. El sedentarismo, las deficiencias nutricionales, la dieta de mala calidad, la inflamación, la falta de sueño, la toxicidad química (tabaco, pesticidas, plásticos...), la toxicidad electromagnética (el ADN mitocondrial es muy sensible a las radiaciones electromagnéticas artificiales como las microondas, wifi...) y, por supuesto, la toxicidad mental (estrés psicológico crónico) afectan negativamente a las mitocondrias y, por lo tanto, a nuestra capacidad de producir energía y tener una vida plena.

2
Esas bacterias venidas a más

Repasemos lo que acabamos de aprender: las mitocondrias son orgánulos celulares diminutos, que apenas miden alrededor de 0,007 mm, y que extraen la energía contenida en los alimentos por medio de un proceso conocido como «respiración celular». Este proceso, que es la suma del ciclo de Krebs y la cadena transportadora de electrones, convierte esa energía de los alimentos en lo que llamamos ATP, la moneda energética que usan nuestras células. Cualquiera de los movimientos que haces cada segundo de tu vida, e incluso el esfuerzo de pensar o respirar, tiene un coste de ATP. Ninguna de las acciones que necesitamos para existir se podría hacer sin energía y es la que producen las mitocondrias la que nos permite ir pagando estos costes.

Con excepción de los glóbulos rojos, que dependen de la glucólisis para su proliferación y supervivencia, el resto de tus células contienen legiones de mitocondrias. Para que te hagas una idea: tenemos quinientas veces más mitocondrias que células. En promedio, hay unas dos mil mitocondrias por célula, pero las que desarrollan mayor actividad metabólica, como las de los músculos, el cerebro, el corazón y el hígado, tienen un número mayor que las menos activas. Las células de tu bíceps, por ejemplo, pueden llegar a tener diez mil mitocondrias que actúan como pequeñas centrales energéticas, ocho mil más que las células epiteliales que se encuentran en la piel.

La mejor comparación que se me ocurre para una mitocondria es una central nuclear. Ambas son capaces de producir ingentes cantidades de energía sin generar apenas residuos, pero hay que tener cuidado con los pocos residuos que producen. Si una central nuclear genera residuos radiactivos, los de una mitocondria no distan mucho de ellos. Son los famosos radicales libres, unas partículas altamente reactivas que se crean en la mitocondria de manera normal durante las reacciones metabólicas.

Los radicales libres, también conocidos como «especies reactivas de oxígeno» (ROS, del inglés *reactive oxigen species*), son derivados de oxígeno altamente reactivos que actúan como bombas de relojería para los tejidos orgánicos. Por eso, la mitocondria no debe dejarlos escapar hasta que sean desactivados por unos artificieros biológicos, los famosos antioxidantes.

2.1. ¿Para qué sirven nuestras mitocondrias?

Si bien la producción de energía es la función principal de las mitocondrias, estas bacterias venidas a más participan en otros muchos procesos esenciales, como la producción de calor para mantener nuestra temperatura corporal, la síntesis de hormonas esteroideas y otras biomoléculas como la vitamina D, la regulación del

calcio celular, la desintoxicación a nivel hepático y la regulación de los mecanismos de apoptosis. Veamos algunas de ellas en profundidad.

Producción de calor

Cuando sentimos frío, nuestro cerebro libera una sustancia llamada «noradrenalina» que activa un mecanismo llamado «termogénesis», que no es otra cosa que la producción de calor. Las responsables de la termogénesis son las mitocondrias, sobre todo, las de un órgano bastante desconocido pero muy importante: la grasa parda, de la que hablaremos más adelante. También las mitocondrias musculares resultan claves para protegernos del frío con un mecanismo que todos conocemos pero que pocos asociamos a un intento de generar calor: los escalofríos. Estos temblores musculares aumentan el metabolismo gracias a la acción de las mitocondrias y, aunque los asociemos al frío, existen para producir calor.

Algunas investigaciones sugieren que la exposición deliberada al frío es, de hecho, una herramienta muy potente de activación mitocondrial.

Síntesis de biomoléculas

Las mitocondrias son esenciales para la biosíntesis de las hormonas esteroideas que incluyen los glucocorticoides (cortisol) y mineralocorticoides (aldosterona) producidos en la corteza suprarrenal y los estrógenos (estradiol), progestágenos (progesterona) y andrógenos (testosterona, dihidrotestosterona) producidos en las gónadas. Muy simplificado, son las responsables de transformar algunos elementos del cuerpo humano, que no podemos asimilar tal y como están, en compuestos fundamentales para nuestra salud. Si estuviéramos construyendo una casa, las mitocondrias serían las encargadas de convertir el barro, que no nos sirve de nada, en ladrillos con los que trabajar.

Las mitocondrias de las células esteroidogénicas de la glándula suprarrenal, los ovarios, los testículos, la placenta y el cerebro contienen un sistema enzimático que convierte el colesterol en dichas hormonas. De manera similar, las mitocondrias de las células tubulares renales contienen enzimas clave que participan en la activación de la vitamina D, una vitamina derivada del colesterol. Gracias a ellas obtenemos hormonas y vitaminas necesarias para el funcionamiento de nuestro cuerpo.

Además, en el ciclo de Krebs que se produce en la mitocondria se generan moléculas como el glutarato y el ácido glioxílico. Ambos son esenciales para formar aminoácidos como la glutamina y la glicina, necesarios para tu salud.

Regulación del calcio celular

Las mitocondrias tienen un papel importante en la homeostasis del calcio dentro de las células, lo que es lo mismo que decir que

controlan el equilibrio de calcio en el cuerpo. Las células reciben el calcio a través de la membrana celular y lo almacenan en un orgánulo conocido como «retículo endoplásmico». Si bien el calcio es esencial para regular el metabolismo celular, la función hormonal, la función muscular y la coagulación de la sangre entre otras, un exceso de calcio libre en el citoplasma de la célula es tremendamente dañino para la misma. La amortiguación del calcio celular es llevada a cabo por mitocondrias unidas al retículo endoplásmico y equipadas con bombas de calcio que lo mantienen en unas concentraciones apropiadas. Con la ayuda de las mitocondrias, el calcio se libera y almacena cuando es necesario.

Desintoxicación hepática

El hígado es uno de los órganos más ricos en mitocondrias. Este complejo laboratorio tiene entre otras funciones la regulación de la glucosa, de los lípidos y de los aminoácidos sanguíneos. Además, es el encargado de **limpiar tu cuerpo**, utilizando dos vías para neutralizar las toxinas y eliminarlas.

Las mitocondrias hepáticas tienen características únicas en comparación con las mitocondrias de otros órganos, porque ayudan al hígado en la integración del metabolismo de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. A todo este trabajo suman el de producir biomoléculas en el ciclo de Krebs que intervendrán en la neutralización y la eliminación de las toxinas.

Responsables de la apoptosis

Las células de nuestro cuerpo están diseñadas para repararse. El daño acumulado por el paso del tiempo y la exposición a factores externos, como la contaminación, las toxinas o las radiaciones electromagnéticas, incrementan el ritmo al que las células se ven obligadas a realizar esas tareas de reparación. Esto, a su vez, incrementa los posibles errores que puedan darse en esa reparación. Las células defectuosas (mutadas) deberían morir mediante un mecanismo conocido como «apoptosis», la muerte programada de las células, una especie de suicidio celular llevado a cabo por las mitocondrias de la célula.

Ante una disfunción mitocondrial, la célula no puede llevar a cabo la apoptosis. Cuando esto sucede, muchas de estas células no mueren, sino que entran en un estado de envejecimiento celular llamado senescencia. Estas células senescentes, también conocidas como «zombis» emiten señales proinflamatorias a las células de su entorno, que también pueden entrar en senescencia, con lo que esta inflamación se extiende a los tejidos adyacentes. Una secuencia como ésta favorece un envejecimiento prematuro y es caldo de cultivo de procesos cancerígenos. No nos debe extrañar que la disfunción mitocondrial sea una de las marcas de esta terrible enfermedad.

Sensores de peligro

Terminamos este breve repaso a las funciones de las mitocondrias con un apunte importante: nuestras particulares centrales térmicas no sólo producen energía, sino que influyen en la manera de generarla en función del contexto de la célula.

Las mitocondrias son una especie de sensores de peligro, que parecen detectar si el organismo como un todo se encuentra en fase de alarma o en fase regenerativa. Cuanto más perciben el peligro, que en nuestra sociedad puede venir de la mala nutrición, falta de sueño, tóxicos, inflamación, sedentarismo, estrés psicológico crónico o patógenos, más inducen un modo de supervivencia en el que generan energía de manera rápida pero ineficiente, a través de la vía glucolítica anaeróbica. Por el contrario, el metabolismo energético de tiempos de paz cambia hacia un modo de producción más eficiente pero más lento, a través de la respiración celular, que favorece procesos como la regeneración y la reproducción. En pocas palabras: cuanto más tiempo estemos en modo defensa, más corta será nuestra existencia.

2.2. Morfología y estructura de las mitocondrias

Tradicionalmente, las mitocondrias suelen describirse como cilindros alargados y rígidos con un diámetro entre 0,5 y 1 micra, con un aspecto muy parecido a una bacteria. Sin embargo, acabamos de ver que la lista de funciones de las mitocondrias puede ser muy larga y variar según en qué parte del cuerpo se encuentren. Por lo tanto, no debería extrañarnos que la morfología de las mitocondrias no responda siempre a esa descripción clásica. Son unos orgánulos muy plásticos capaces de cambiar constantemente de forma.

Según el tipo de célula, la distribución de las mitocondrias puede variar, ya que son muy móviles. Pueden fusionarse y separarse entre sí y algunas se desplazan por el citoplasma mientras que otras permanecen fijas para cumplir más eficientemente su función. También su forma cambia según el combustible que se especialicen en usar: si queman mejor glucosa, serán más cortas, mientras que las que usan grasa serán más alargadas.

Pero su maleabilidad no responde sólo a contextos positivos: los agentes externos negativos también pueden modificar su forma. El estrés psicológico crónico deforma las mitocondrias haciendo que se hinchen y reduzcan su funcionalidad; de ahí que las técnicas de reducción del estrés mejoran las mitocondrias.

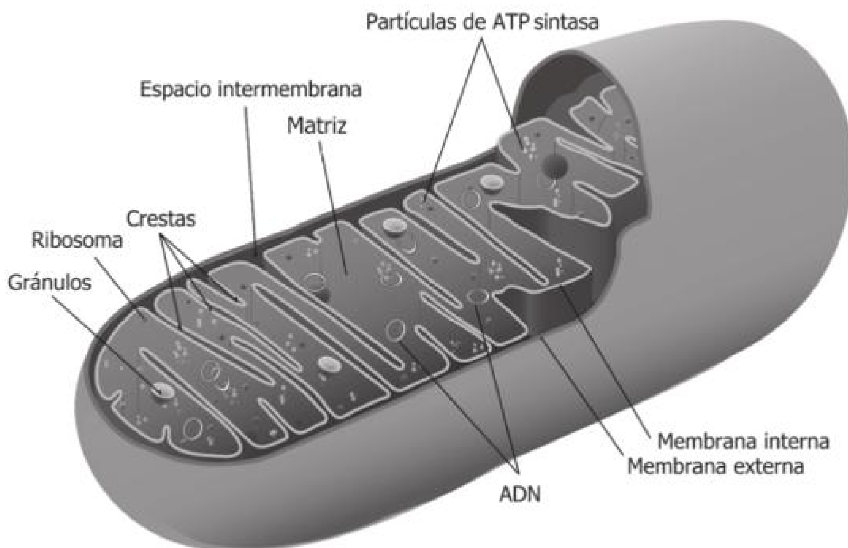
Para entender mejor cada parte de estas pequeñas centrales nucleares que nos aportan nuestra energía, vamos a hacer un pequeño viaje por su forma y estructura.

Matriz mitocondrial

La matriz de las mitocondrias hace referencia al espacio dentro de la

membrana interna. Está lleno de un líquido denso formado por el agua metabólica, de la que hablaremos más adelante, y una mezcla altamente concentrada de cientos de enzimas y moléculas diferentes. Dentro de éstas encontramos copias idénticas del ADN de la mitocondria, ribosomas mitocondriales (mitorribosomas) que producen proteínas, ARN de transferencia (ARNt), metabolitos, iones inorgánicos, enzimas necesarias para la expresión de los genes y otras necesarias para el ciclo de Krebs, la fosforilación oxidativa, la oxidación del piruvato y la beta oxidación de los ácidos grasos.

Ilustración 1. Estructura e interior de una mitocondria modelo



Fuente: Mariana Ruiz Villarreal.

Membrana externa

A nivel de estructura, llama la atención la doble membrana externa e interna de las mitocondrias. La membrana externa es bastante **permeable**, sobre todo de fuera hacia dentro, gracias a la presencia abundante de unas proteínas de transporte llamada porinas, que permiten el paso a través de ella hasta pequeñas proteínas.

Esta permeabilidad es importante para que los ácidos grasos de cadena larga (un tipo de grasas de mayor tamaño) puedan pasar el espacio entre la membrana externa y la interna, conocido como **espacio intermembranal**. Ahí un líquido acuoso rico en enzimas transforma los ácidos grasos de cadena larga en moléculas más pequeñas en lo que se conoce como «beta oxidación». Gracias a eso pueden ser utilizados en la matriz de la mitocondria como sustrato energético.

Membrana interna

Esta membrana es más extensa que la externa, ya que cuenta con una gran cantidad de pliegues conocidos como las **«crestas**

mitocondriales». En ellas se encuentran alojados los **complejos proteicos** que, en nuestra metáfora de la central nuclear, servirían de aceleradores de partículas. Aquí se producen los procesos de transporte de electrones, las proteínas transportadoras como el citocromo c y la coenzima Q10, y también se encuentran las ATP sintasas, unas proteínas que hacen la función de turbina, donde se aprovechará la energía del flujo de electrones para generar la energía celular (el ATP). Lo veremos con mucho más detalle en el capítulo 7.

A mayor número y longitud de las crestas mitocondriales, mayor será su capacidad de alojar cadenas transportadoras de electrones y, por lo tanto, mayor será su capacidad de producir energía. Esto depende, en parte, de su ubicación. Por ejemplo, la cantidad de crestas de las mitocondrias de las células cardiacas es tres veces mayor que en las células hepáticas. Pero el factor que más estimula la longitud y el número de crestas mitocondriales es, sin duda, el nivel de actividad física de las personas. Y, por supuesto, también se cumple a la inversa: a mayor sedentarismo, menor cantidad de crestas mitocondriales, más cortas y menos funcionales. Se podría decir que las crestas son los músculos de las mitocondrias: si fueran al gimnasio, en lugar de conseguir unos bíceps más marcados, las mitocondrias extenderían sus crestas y conseguirían más perímetro en su membrana interna.

Al contrario que la externa, esta membrana debe permanecer casi impermeable para que se pueda llevar a cabo la fosforilación oxidativa y no se escapen los radicales libres, ese residuo radiactivo que hemos mencionado antes. Pero, al mismo tiempo, la membrana debe facilitar el transporte de iones y metabolitos. Esto se logra mediante una bicapa lipídica, rica en un tipo de grasa conocida como «cardiolipina», con canales y transportadores específicos.

Un exceso de producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) producidas por una mitocondria disfuncional puede alterar la permeabilidad de la membrana interna. Esta situación anómala produciría la fuga de estos radicales libres y de moléculas de la matriz como el citocromo c o el ADN mitocondrial hacia el citoplasma de la célula, dañando a la célula y activando una respuesta inflamatoria. La membrana interna es nuestra barrera de seguridad para evitar que ocurra algo así, por lo que preservar su integridad es fundamental para mantener la salud celular y del organismo.

El papel de las grasas en la membrana mitocondrial

La membrana mitocondrial está formada fundamentalmente por grasas. Cada una de las membranas mitocondriales está formada, a su vez, por una capa doble de fosfolípidos. Así que, en función del tipo de grasas que estén presentes en nuestra dieta, las mitocondrias incorporarán a su membrana grasas de mejor o peor calidad. Es una aplicación directa del famoso dicho «somos lo que comemos». Las

alteraciones en la composición de las grasas de la dieta alteran el grosor, la rigidez y la fluidez de la bicapa lipídica, lo que afecta a la función mitocondrial.

Sin duda, las más importantes son las grasas omega 3 EPA y DHA, presentes, sobre todo, en el pescado y el marisco. Según diversos estudios, el DHA es quizá la grasa más importante en las membranas mitocondriales, ya que resulta necesario tanto para la organización como para la función de las proteínas de membrana, esenciales para producir ATP. Cuanto más omega 3 llegue a las mitocondrias, mejor será su función. Si no comes pescado en cantidad y con frecuencia, entre tres y cinco veces por semana, uno de tus suplementos de cabecera tendrá que ser **un omega 3 de calidad**, pero ya exploraremos estos consejos nutricionales más adelante. La evidencia nos muestra que la suplementación con aceite de pescado, rico en omega 3, favorece su incorporación a la membrana.

Dentro de las grasas, además de los famosos omega 3, hay una de especial importancia para la estructura de las membranas: la colina, un nutriente poco conocido pero esencial. Las membranas mitocondriales necesitan una gran fluidez y esa fluidez se la da, junto al omega 3, la colina.

Si te fijas en el contenido de colina en los alimentos, además del hígado, que es donde se almacena, sólo existe uno capaz de aportarnos la colina necesaria. Se trata del huevo. Un huevo cocido de tamaño medio proporciona 147 mg de colina, lo que supone más de un tercio de la ingesta adecuada de colina establecida por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria para adultos. Es importante tener en cuenta que toda la colina se encuentra en la yema.

Otras grasas saludables presentes en alimentos como el aceite de oliva, las nueces y el aguacate (ácidos grasos monoinsaturados), en el coco (ácidos grasos de cadena media) o en el cacao (ácido esteárico) son fundamentales para construir membranas mitocondriales a prueba de balas.

Las grasas son esenciales para unas mitocondriales funcionales, pero no nos vale cualquier tipo. Las grasas de mala calidad, como las grasas hidrogenadas tipo trans presentes en los alimentos ultraprocesados y las grasas omega 6 (ácido linoleico) presentes en aceites vegetales como los de soja, maíz, girasol (también frecuentes en los alimentos industriales), son nefastas para la integridad de las membranas mitocondriales. Ambos tipos de grasas son altamente proinflamatorias y muy inestables, por lo que oxidan fácilmente.

Cuando nuestra dieta carece de grasas saludables, son las de mala calidad las que se incorporan a la membrana mitocondrial. Seguro que te puedes imaginar el desastre que se produce cuando obligamos a nuestras mitocondrias a funcionar con una materia prima tan dañina

para nuestra salud. De repente, estas bacterias venidas a más que han aprendido a llevar a cabo tantas funciones fundamentales y que actúan como productoras de energía, desintoxicantes, reguladoras del calcio y sintetizadoras de biomoléculas, entre otras muchas tareas, deben hacer su trabajo sin disponer del alimento que mejor les sienta. Es más que lógico que, si no les damos lo que necesitan, no puedan asegurarnos nuestro bienestar.

3

Dinámica mitocondrial

Como acabamos de aprender, la forma de una mitocondria es muy parecida a la de una bacteria, como también lo son su ritmo vital, su manera de reproducirse e incluso de comportarse. Las mitocondrias son orgánulos altamente dinámicos que sufren frecuentes cambios en su estructura, su función y su distribución en la célula para poder satisfacer las demandas energéticas celulares.

La forma más adecuada de considerar a la mitocondria, más que como una parte de la célula, es como una célula dentro de otra célula, con la que trabaja en consonancia. Una vez más, la tesis de Magulis sobre la importancia de la cooperación nos ayuda a explicar el funcionamiento del ser humano. En este caso, el número de mitocondrias puede aumentar o disminuir en función de las necesidades energéticas de la célula. Son estructuras muy móviles que pueden asociarse formando redes de mitocondrias cuando el tejido que habitan necesita de un mayor aporte de energía, como, por ejemplo, un músculo desarrollado. Esto se ve muy bien en la musculatura de las personas que hacen deporte: a mayor cantidad y mayor calidad de actividad física, mayor número de mitocondrias y más interconectadas entre ellas, al contrario que una persona sedentaria, que presenta en su musculatura menos mitocondrias, más pequeñas y menos interconectadas.

Las mitocondrias envejecen más rápido que cualquier otra parte de nuestro organismo. Al ser la principal maquinaria bioenergética y fuente de estrés oxidativo, son particularmente susceptibles al daño con el tiempo. Para poder mantener la función mitocondrial en la célula, requieren de un reciclaje y una regeneración continuos.

Para mantener el correcto funcionamiento de la célula, debe existir un exhaustivo control de calidad mitocondrial en el que intervienen varios procesos. Además de una sucesión dinámica de escisiones de las partes dañadas de las mitocondrias y la fusión de las sanas (fisión/fusión), debe sucederse la eliminación de las mitocondrias irreversiblemente dañadas (mitofagia) y el reemplazo de mitocondrias perdidas (biogénesis mitocondrial). A este proceso, en su conjunto, se lo conoce como **«dinámica mitocondrial»**.

En términos muy básicos, toda esta dinámica se basa en curar aquello que tiene cura, desprenderse de lo

incurable y reemplazar las pérdidas con nuevas mitocondrias sanas.

Como vemos, la dinámica mitocondrial depende principalmente de la fisión, la fusión, la biogénesis y la mitofagia mitocondrial. En circunstancias ideales, estos procesos se mantienen en equilibrio para garantizar tanto la cantidad como la calidad mitocondrial. Si esto no se cumple, las alteraciones en uno de estos pasos conducen a la disfunción mitocondrial que compromete el metabolismo celular y aumenta la producción de radicales libres (ROS). El resultado es la predisposición a multitud de enfermedades.

3.1. Fusión y fisión

Las mitocondrias se forman constantemente a través de la fusión y la fisión, que usan en respuesta a los cambios en los requisitos de energía. Mediante la fusión, dos orgánulos se unen en uno solo; mediante la fisión, un solo orgánulo se divide en dos. El equilibrio entre fusión y fisión mitocondrial determina el número, la morfología y la actividad de estos orgánulos multifuncionales.

La morfología del orgánulo dicta la función mitocondrial. A través de eventos de fisión y fusión, las mitocondrias cambian continuamente de forma, desde pequeños puntos hasta redes interconectadas, y se adaptan así al estado energético celular.

El proceso de fusión se lleva a cabo gracias a unas proteínas de unión, las mitofusinas 1 y 2 (MFN1 y MFN2), situadas en las membranas mitocondriales externas, y por OPA1 en las membranas mitocondriales internas. En general, cuanto más alargadas, más funcionales son las mitocondrias, por lo que dos mitocondrias pueden fusionarse en una para crear otra más efectiva. El aumento de la fusión mitocondrial da como resultado mitocondrias alargadas con una mayor capacidad de producción de ATP y un incremento de la interconectividad de la red mitocondrial, que la hace más eficiente. Además, la fusión es fundamental para el mantenimiento del ADN mitocondrial (mtDNA).

A su vez, **la fisión mitocondrial**, esencial cuando una parte de la mitocondria deja de funcionar correctamente, es llevada a cabo por una proteína de fisión llamada «DRP1». Ésta se ensambla alrededor de la mitocondria, creando una estructura similar a un anillo que constriñe el orgánulo hasta partirlo en dos. Preserva la región funcional, que quedará más pequeña y redondeada y podrá fusionarse con otra mitocondria, mientras que desprende la parte dañada o que no funciona correctamente. Esta parte pasará al proceso de reciclaje

celular conocido como «autofagia», que, en este caso, al ser específico de la mitocondria, se conocerá como «mitofagia».

3.2. Mitofagia

La autofagia es el reciclaje celular, descrito de una manera tan precisa por el profesor Yoshinori Ohsumi, galardonado en 2016 con el premio Nobel de Medicina. En este proceso, las proteínas y los orgánulos disfuncionales son destruidos y sus componentes reutilizados en otras funciones celulares.

La mitofagia es un proceso crucial de la dinámica mitocondrial, ya que permite la eliminación de mitocondrias disfuncionales y senescentes en su totalidad o de su parte disfuncional, a través de lo que se conoce como autofagosomas. Algo así como una poda mitocondrial, donde desaparece lo que sobra y se conserva la parte sana.

El proceso está estrechamente regulado por dos enzimas, PINK1 y Parkin, que son las encargadas de activar el reciclaje de las mitocondrias atrapándolas en estructuras de doble membrana conocidas como «autofagosomas», a los que se les fusionan unas pequeñas vesículas, llamadas lisosomas, cargadas de sustancias altamente corrosivas. Estas sustancias son las enzimas hidrolasas lisosomales y son capaces de degradar con facilidad los elementos secuestrados. Seguro que nunca olvidas esta imagen: es como si a las pobres mitocondrias que ya no sirven las metiéramos en una bañera y la llenáramos de ácido.

Ilustración 2. Ciclo de la dinámica mitocondrial

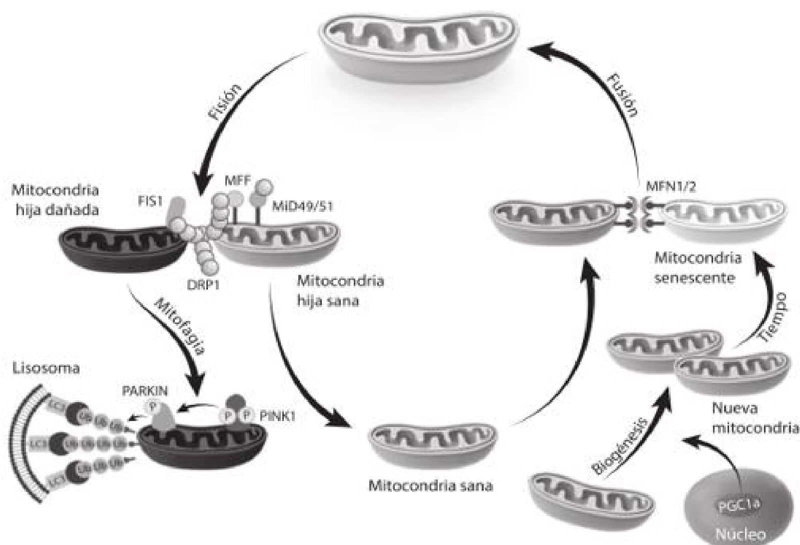


Ilustración: © Salomart.

Evitar las mitocondrias zombis

La maquinaria de fusión-fisión y mitofagia requiere de un delicado equilibrio, ya que su pérdida puede conducir a la acumulación de mitocondrias dañadas, disfuncionales y senescentes. Hemos visto que la fisión mitocondrial da como resultado mitocondrias más pequeñas y desconectadas, mucho menos eficientes. Lo ideal es que estas mitocondrias crezcan, maduren sus crestas y, con ellas, la capacidad de producir ATP, o bien se fusionen con otras. En ambos casos, cierran el ciclo y recuperan su potencial pleno.

Algunos estudios han puesto de manifiesto cómo, durante el envejecimiento, las mitocondrias tienden a estar más fragmentadas y desconectadas. Aún peor: hay una población mayor de mitocondrias disfuncionales y senescentes que deberían haber sido recicladas por la mitofagia, pero, por alguna razón, no ha sido el caso. Entran en una especie de hibernación o estado de senescencia: ni se reproducen, ni cumplen con su función, ni desaparecen. Por esta razón, se conocen como **«mitocondrias zombis»**.

Estas **mitocondrias zombis emiten señales proinflamatorias a la célula** que también pueden entrar en senescencia, con lo que esta inflamación y esta pérdida de función se extienden a los tejidos adyacentes. **Cuando la mitofagia falla, el ciclo de reciclaje se estropea**, como si el camión de la basura que vacía el contenedor de la calle se olvidase de pasar y los plásticos y vidrios que deberían tener un nuevo uso se acumulasen en las aceras, entorpeciendo la vida diaria.

Como vemos, el envejecimiento lleva de la mano una disminución de los procesos de mitofagia, creación de nuevas mitocondrias, crecimiento mitocondrial y fusión, además de un aumento desmesurado de la fisión mitocondrial. Lo que nos queda es una población más reducida y menos conectada de mitocondrias más pequeñas y redondeadas y, por tanto, menos funcionales. Si queremos frenar el envejecimiento, deberemos regular todos estos procesos.

3.3. Biogénesis mitocondrial: más y mejores mitocondrias

¿Qué me dirías si te explicase que existe un mecanismo por el cual se potencia la mitofagia de las mitocondrias disfuncionales, se regula la fisión y se estimula tanto el crecimiento en tamaño y funcionalidad como la fusión de las mitocondrias? Una vida monótona hará que tus mitocondrias se aburran y se vuelvan perezosas, pero, si les das «alegría mitocondrial», ellas responderán con un extraordinario

proceso: la **biogénesis mitocondrial**.

El concepto de «biogénesis mitocondrial» no sólo consiste en la creación de nuevas mitocondrias, sino que engloba la mejora de la funcionalidad de estos orgánulos. Hablamos, por tanto, de más y mejores mitocondrias.

Recordemos que una de las características más peculiares de las mitocondrias es que tienen su propio ADN, conocido como «ADN mitocondrial», así como sus moléculas de ARN y sus propios ribosomas, que actúan como fábricas de proteínas. Esto significa que las mitocondrias tienen la capacidad de crear parte de las proteínas necesarias tanto para su funcionamiento como para su división.

Al igual que las bacterias, las mitocondrias nunca se sintetizan de nuevo; siempre surgen a partir de la división de una mitocondria previa que se divide en dos más pequeñitas, desconectadas del resto y mucho menos eficientes. Con el paso del tiempo y los estímulos adecuados, se convertirán en dos hermosas, alargadas y potentes fábricas de energía. **A este proceso lo llamamos «biogénesis mitocondrial».**

La complejidad de la regulación de la biogénesis mitocondrial no puede subestimarse; implica cambios en la expresión de más de mil genes. Debido al número limitado de proteínas que el ADN mitocondrial codifica, necesitará de la ayuda del ADN nuclear. Los dos genomas cooperan para llevar a tus mitocondrias a otro nivel.

PGC1α

¿Cómo es posible que unos genes situados en lugares diferentes regulen de forma coordinada este proceso? Para ello, existen una serie de moléculas que hacen de mensajeros entre la mitocondria y el núcleo de la célula. A pesar de la complejidad de las diversas vías de señalización necesarias para regular la biogénesis mitocondrial, todas comparten un componente clave común: **la proteína 1α**, coactivadora del receptor γ activado por el proliferador de peroxisomas. O, para los amigos, **PGC1α**.

La PGC1α es el regulador maestro de la **biogénesis mitocondrial**. Esta molécula actúa como un interruptor celular capaz de activar múltiples genes, tanto celulares (nucleares) como mitocondriales (ADNmt), que contienen la información necesaria para construir proteínas mitocondriales y aumentar su actividad. Algunos ejemplos de estas proteínas pueden ser determinados componentes de la cadena de transporte de electrones, el citocromo c o transportadores de membrana mitocondriales, entre otros.

El PGC1α se encuentra inactivo en el citoplasma de la célula, pero se puede activar en situaciones fisiológicas que aumentan la demanda a la mitocondria de energía en forma de calor o ATP. Mucho más

sencillo: esas situaciones en las que le exigimos un esfuerzo al cuerpo. Gracias a estímulos como la exposición al frío, el ejercicio o el ayuno, el PGC1α es movilizado al interior del núcleo, donde actúa como coactivador de los factores de transcripción **Nrf-1/2, Tfam y PPARγ**. Éstos son unas proteínas capaces de unirse al ADN para regular su función, implicadas en el proceso de biogénesis.

De una forma más sencilla, podríamos decir que PGC1α es la proteína que ayuda a que Nrf-1/2 y PPARγ se unan al lugar adecuado de los genes de la célula que sintetizan proteínas destinadas a la mitocondria que viajarán desde el citoplasma (donde son creadas por los ribosomas) hasta el interior de la mitocondria. Allí serán ensambladas y trabajarán en mejorar su funcionamiento y su capacidad de reproducción y crecimiento.

Además de estar implicado en la biogénesis mitocondrial, el *Nuclear Respiratory Factor 2* (Nrf2) desempeña una función vital en la lucha contra el estrés oxidativo. Es capaz de activar la producción de enzimas antioxidantes y protectoras, como el famoso glutatión del que hablaremos más adelante. Por su parte, PPARγ también mejora la combustión de las grasas y resulta esencial para lograr la ansiada flexibilidad metabólica, que no es más que la capacidad de usar las grasas como combustible cuando sea necesario.

El *Mitochondrial Transcription Factor A* **(Tfam)** también ejerce una función similar a los anteriores, pero la diferencia es que, aunque también se sintetiza en el núcleo de la célula, actúa como mensajero de PGC1α viajando hasta el interior de la mitocondria. Una vez ahí, actúa directamente a nivel del ADN mitocondrial, con lo que mejora el funcionamiento de la mitocondria y regula los procesos de fusión y fisión, la mitofagia y, por supuesto, la biogénesis mitocondrial.

No te preocupes si todo lo que acabas de leer te ha sonado muy complejo. La biogénesis mitocondrial es, efectivamente, un proceso laborioso, pero vamos a quedarnos con lo importante. La proteína PGC1α que acabamos de conocer es fundamental en este proceso de creación de más y mejores mitocondrias, porque es un potente activador que:

- hace que las mitocondrias funcionen de una forma óptima,
- estimula su reproducción,
- hace que las pequeñas crezcan,
- estimula la fusión,
- protege contra el estrés oxidativo y el daño, minimizando la fisión,
- y activa la mitofagia cuando es necesaria.

3.4. La hormesis

Para proliferar, conectarse y mejorar su función, nuestras mitocondrias necesitan estímulos que las fortalezcan. En esencia, estos estímulos buscarán lo mismo, pero lo pueden hacer por diversas vías, a través de retos incómodos que, una vez superados, las vuelven mejores. A esta secuencia se la conoce como «hormesis» y, como seguro que ya te has ido dando cuenta, como estamos hablando de mitocondrias, diremos «mitohormesis». Factores como la disponibilidad de nutrientes, la temperatura, el ejercicio, la hipoxia intermitente o el sol activan la vía mitohormética por excelencia que no es otra que nuestra nueva proteína favorita, la PGC1α.

¿Qué estímulos horméticos mitocondriales (mitohorméticos) podemos usar?

Nos sirve casi cualquier situación que demande energía, porque generará un estrés energético que obliga a la mitocondria a mejorar. Algunos ejemplos que, junto a un correcto descanso que respete los ritmos circadianos y a una alimentación adecuada, nos llevarán a generar mitocondrias a prueba de balas son:

- el ejercicio,
- el ayuno intermitente,
- la exposición al frío,
- la exposición al calor,
- la radiación solar,
- y la hipoxia intermitente (privación de oxígeno durante un corto período de tiempo, seguida de un aumento de la oxigenación).

Otra ventaja de los estímulos horméticos es que combinados son más potentes, así que imagina el poder de biogénesis mitocondrial que tiene salir a correr o caminar rápido en ayunas bajo el sol de la mañana. Tus mitocondrias se volverán indestructibles. Te enseñaré a hacerlo en capítulos posteriores.

En el idioma molecular que entiende nuestro organismo, esos estímulos generan una serie de sustancias como la noradrenalina, el óxido nítrico (NO), sirtuinas de tipo 1 (SIRT1), la AMPK y las hormonas tiroideas. Todas ellas activan la PGC1α y, gracias a ello, la biogénesis mitocondrial y la función mitocondrial. Vamos a conocer un poco cada una.

Tanto la **AMPK** como las **sirtuinas (SIRT)** son dos proteínas que se activan cuando la célula registra una bajada en sus niveles de energía o, en otras palabras, una carencia de ATP, esa moneda energética que necesitamos para cualquier acción. Estas sustancias

activarán la biogénesis mitocondrial, pero también mejorarán el metabolismo de la glucosa y de la grasa para producir más energía.

El óxido nítrico, además de estimular la biogénesis mitocondrial, es un potente vasodilatador que mejora la llegada de sangre cargada con oxígeno y nutrientes a la mitocondria. Se libera ante el ejercicio físico, pero también al tomar el sol y con las técnicas de respiración lenta y profunda por la nariz. Para producirlo necesitamos de aminoácidos como L-arginina y L-citrulina presentes, por ejemplo, en la sandía, las gambas y las almendras, y nitratos como los que se obtienen de la remolacha, la reina para estimular la producción de óxido nítrico. Un buen truco, en este caso, es consumirla también en forma de zumo.

Las hormonas tiroideas están muy involucradas en los procesos de biogénesis mitocondrial. Los niveles adecuados de hormonas T3 y T4 son fundamentales para el mantenimiento de las mitocondrias, aumentando tanto el número como el tamaño de las mismas. Especialmente durante el envejecimiento, de hecho, los estudios advierten que el hipotiroidismo acelera el envejecimiento de los tejidos. La eficacia de las hormonas tiroideas dependerá, en parte, del número y la funcionalidad de receptores a nivel celular. Pero, como la tiroides es un mundo aparte, hablaremos más en profundidad de ella en el capítulo 8.

Por su parte, la **noradrenalina** nos ayuda a comprender el impacto del estrés en las mitocondrias. Producida por nuestro cuerpo en respuesta al estrés físico agudo, como el ejercicio, el frío o los ayunos, es una respuesta positiva a los estímulos y aumenta la biogénesis mitocondrial. Pero cuando en lugar del estrés puntual, sometemos nuestro cuerpo al estrés psicológico crónico, lo que se produce es cortisol, que frena la biogénesis de una manera dramática. Tendremos tiempo de hablar de estrés agudo frente a estrés crónico; por lo pronto, quedémonos con que a nuestras mitocondrias les encanta el estrés agudo del cuerpo, pero odian el estrés crónico de la mente.

La expresión de PGC1α es rápidamente inducida por estímulos como la exposición al frío, el ejercicio agudo y el ayuno, situaciones fisiológicas que aumentan la demanda a la mitocondria de energía en forma de calor o ATP.

En conclusión

Recapitulemos. Desarrollar nuevas mitocondrias mediante la biogénesis mitocondrial y controlar la calidad de las existentes y

reemplazar las mitocondrias dañadas, gracias a la fusión, la fisión y la mitofagia, te permitirá generar más energía para mejorar tu salud y tu rendimiento deportivo y para ralentizar el envejecimiento. Todo esto lo conseguiremos exponiéndonos a estímulos mitohorméticos como el ejercicio, el ayuno o la exposición al frío y al sol.

Cuando todos estos mecanismos de control de calidad mitocondrial empiezan a fallar, consecuencia de la vida moderna llena de estrés crónico, de calorías provenientes del azúcar y los ultraprocesados, de sedentarismo, de falta de sueño, de una excesiva normotermia (no exponernos nunca ni al frío ni al calor), de una mala oxigenación de los tejidos y de una tiroides agotada, entre otros factores, el proceso de biogénesis mitocondrial se ve afectado. Estos estímulos negativos generan una población de mitocondrias que no funcionan de forma óptima a las que llamamos «disfuncionales» y que están en la raíz de casi todas las patologías crónicas modernas.

3.5. Xenohormesis y quercetina

Al igual que los animales, las plantas también están expuestas a condiciones de estrés, como el calor, el frío o la sequía. La sutil diferencia es que ellas no pueden moverse, por lo que su única defensa es producir sustancias que las defiendan de estas situaciones adversas convirtiéndolas en plantas más resistentes. Hormesis en estado puro.

Aquí es donde viene lo bueno, para nosotros. Según una sólida evidencia científica, ingerir en la dieta los principios activos generados por las plantas en respuesta al estrés también induce hormesis en nosotros. Es lo que se conoce como **«xenohormesis»**. Dentro de la amplia variedad de principios activos con esta capacidad, cuando hablamos de nuestras amigas las mitocondrias hay una que destaca sobre las otras. Os quiero presentar a la **quercetina**.

La quercetina es un flavonoide presente en una gran variedad de frutas y verduras. Desde hace décadas se conocen sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, pero sólo hace unos años, la quercetina empezó a ser impulsada por los grandes investigadores en el campo de la longevidad, gracias a su efecto en una serie de procesos mitocondriales.

De la mano de los grandes gurús de la longevidad hemos descubierto que este fitoquímico puede:

- modular las vías asociadas con la **biogénesis mitocondrial**, aumentando la expresión PGC-1alfa mediante la activación de la sirtuina 1 (SIRT1) y la AMPK,
- proteger el ADN mitocondrial del estrés oxidativo,

- ser un potente senolítico con capacidad para eliminar mitocondrias senescentes,
- y mejorar la capacidad de la mitocondria de producir ATP.

¿Qué alimentos son ricos en quercetina?

- **Alcaparras**: 365 mg por 100 g. ¡Son la fuente alimenticia más rica en quercetina!
- **Eneldo fresco**: 55 mg por 100 g.
- **Cebolla morada**: 39 mg por 100 g.
- **Trigo sarraceno**: 36 mg por cada 100 g.
- **Frutos rojos**. Según la variedad: 7-14 mg por 100 g si se trata de arándanos azules y hasta 22 mg por 100 g si son arándanos rojos.
- **Manzanas**: 5 mg por 100 g.
- **Té verde**: 2,63 mg por cada 100 ml.

Las alcaparras son una fuente excelente de quercetina, por lo que son un alimento magnifico para la longevidad. Suelen venir encurtidas en vinagre, que suma a todo esto sus efectos en la digestión y la gestión del azúcar en sangre. Elige, en lo posible, alcaparras ecológicas y sin aditivos.

Los arándanos son otra joya nutricional. Además de tener un contenido muy bajo en azúcar, son ricos en quercetina, pero también en otros antioxidantes como las antocianinas, el ácido clorogénico, el ácido elágico y el pterostilbeno, con una acción similar a la del resveratrol, pero más biodisponible. El arándano en un activador mitocondrial de primera línea.

El trigo sarraceno no sólo es una buena manera de aumentar el consumo de quercetina, sino que también es excelente para elaborar un delicioso pan sin gluten. A muchos les sorprende, pero el sarraceno, de «trigo» no tiene nada salvo el nombre.

Además de la quercetina, otros productos naturales senolíticos y con potencial de activar la hormesis mitocondrial son algunos fitonutrientes como la oleuropeína y hidroxitirosol (presentes en el aceite de oliva virgen extra), el resveratrol (presente en uvas negras y frutos rojos), la EGCG o epigalo-catequina-galata (presente en el té verde), la fisetina (presente en las fresas, frambuesas y pepino), la curcumina (presente en la cúrcuma) y minerales como magnesio y selenio.

Puede que la dinámica mitocondrial sea un complejo proceso microscópico, pero resulta reconfortante saber que tenemos muchas opciones a mano, como incluir estos ingredientes en nuestra dieta, para darle un empujón a la creación de mitocondrias sanas y al reciclaje de las dañadas.

Segunda parte

EL CICLO DE LA ENERGÍA

4
ATP, el guardián de la homeostasis

Como ya hemos visto, todo depende de la energía. De su producción se encargan las mitocondrias, pero ¿qué procesos vitales estamos englobando en ese todo? ¿Cómo produce una mitocondria la energía? ¿Qué combustible usa? ¿La energía sólo se puede producir dentro de las mitocondrias? Y, ya puestos, ¿de qué hablamos cuando nos referimos a energía? De todo esto y más hablaremos a continuación, así que ¡vamos a por ello!

4.1. La continua búsqueda de la homeostasis

La vida es un continuo movimiento en el que **pararse significa retroceder**. Nuestro organismo se mueve continuamente en busca del equilibrio interno, a nivel bioquímico, celular y orgánico, y externo, a nivel ecológico, social, económico, laboral... Este equilibrio dinámico en el que podemos desarrollarnos como personas se conoce como homeostasis, un concepto que no es un estado que alcanzar, sino un proceso continuo que mantener para evitar ser devorados por la entropía.

Cualquier amenaza a la homeostasis del organismo es englobada bajo el paraguas del término **«estrés»**, pero el estrés no es intrínsecamente malo. Como ya vimos en el capítulo anterior, en función de su naturaleza y su duración, puede suponer un gran estímulo de mejora o algo extremadamente pernicioso.

Para mantener la homeostasis necesitamos un continuo aporte de energía. Sin energía, nuestro cerebro no puede pensar, ni imaginar, ni soñar; nuestro sistema inmunitario no puede defendernos; nuestros órganos no pueden funcionar ni nuestra musculatura contraerse para que podamos movernos... y así con cada una de las funciones corporales. Como dice el escritor y divulgador Carlos Stro, «Un cuerpo sin energía se llama cadáver».

Ilustración 3. ¿Para qué necesita la energía nuestro organismo?

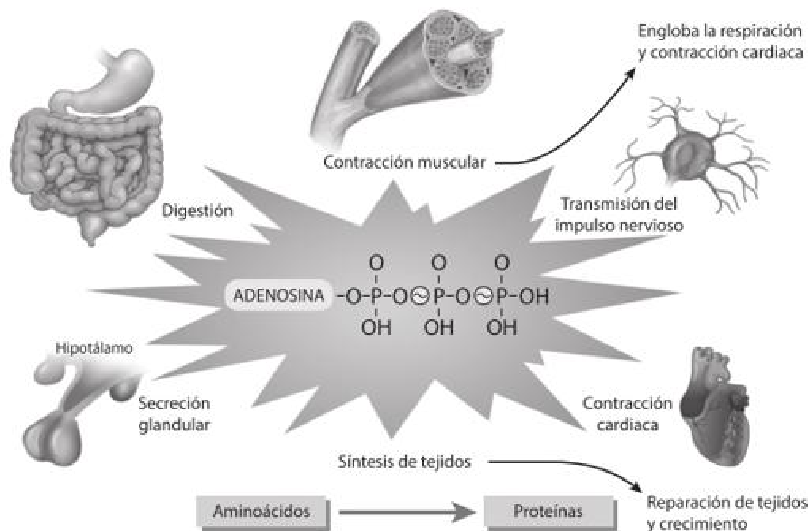


Ilustración: © Salomart.

A estas alturas, no tendrían que quedarnos dudas: para vivir necesitamos producir y usar energía. Lo que queremos, igual que en economía, es no malgastar nada de lo que producimos.

La clave central de nuestra salud y nuestra longevidad vendrá determinada en buena medida por la calidad de nuestra gestión energética o, en otras palabras, cómo de eficiente sea nuestro metabolismo.

4.2. El ATP, la moneda energética

Como vemos, la energía es esencial para la vida. Pero, cuando hablamos de energía, ¿a qué nos referimos exactamente?

El bullicio en la célula es continuo. Proteínas transportadoras llevan sin descanso nutrientes hacia el interior y desechos al exterior de la célula, proteínas motoras transportan cargas a lo largo de pistas formadas por microtúbulos, enzimas catabólicas degradan por aquí y las anabólicas construyen macromoléculas por allá... Y todas se nutren de la misma energía.

Los procesos que dependen de reacciones energéticamente desfavorables continuarán alegremente si hay energía disponible para impulsarlos. En resumen, la fiesta seguirá mientras alguien la pague. Sin embargo, si la energía se agota, las reacciones se detienen y la célula comienza a morir. La energía necesaria se «paga» con reacciones acopladas energéticamente favorables que liberan energía. Y es aquí donde entra en acción una pequeña molécula que es la que paga la fiesta: **el trifosfato de adenosina o ATP**. **La moneda energética**.

Estructura del ATP

Ya sabemos que muchas reacciones gastan energía y que quien se

encarga de facilitar esa energía es el trifosfato de adenosina o ATP. Vamos a conocer esta molécula tan importante que extiende los cheques energéticos para que nuestro cuerpo pueda funcionar.

La parte central de la molécula la forma un azúcar de cinco carbonos llamado «ribosa». Está unido a una molécula adenina (formada mayoritariamente por nitrógeno) de un lado y a una cadena de tres grupos fosfato del otro. El grupo fosfato más cercano a la ribosa se denomina «grupo fosfato alfa», el que está a la mitad de la cadena es el «grupo fosfato beta» y el del final es el «grupo fosfato gama».

Ribosa

Como vemos, la ribosa, conocida también como «D-ribosa», es la base sobre la que se construye el ATP. Sin ella, no hay estructura para producir energía.

Si bien nuestras células pueden producir ribosa a partir de la glucosa, éste es un proceso lento que suele resultar insuficiente. Como resultado, nuestro organismo a menudo no es capaz de compensar la pérdida de ATP después de un esfuerzo intenso o una época de alto requerimiento de energía o en caso de patología. En estos casos, los suplementos de ribosa eluden la producción lenta de la misma a partir de la glucosa y hacen que vuelva a estar disponible rápidamente para la nueva síntesis de ATP. Así, muchos estudios ponen de relieve la capacidad de la ribosa para aumentar las concentraciones intracelulares de ATP.

Aunque la ribosa sea un azúcar, los alimentos que la contienen no son la fruta ni la miel, sino la carne, el pescado (sobre todo, en los arenques y sardinas) y, en menor cantidad, las setas.

Beneficios y usos de la ribosa con evidencia científica

Una buena disponibilidad de ribosa puede ayudarnos a que nos sintamos mejor en muchos ámbitos. Algunos de sus beneficios son:

1. Apoya la salud del corazón. Mejora los niveles de energía del miocardio (el músculo cardiaco) y la función de las personas con enfermedades cardiovasculares isquémicas.
2. Mejora el rendimiento deportivo y la recuperación tras el esfuerzo.
3. A nivel muscular combate la fatiga, los calambres, las contracturas y el dolor muscular, así como la rigidez y los problemas a nivel de tejidos.
4. Ayuda a reducir la sintomatología en la fibromialgia y el síndrome de fatiga crónica.

Una dosis común para un suplemento de ribosa es de **5 a 20 g/día**. Tomada de forma segura y bien tolerada, es fácilmente absorbible y tiene un sabor agradable, además de mezclarse bien con las bebidas o los alimentos líquidos.

Al consumirla, la ribosa es absorbida rápidamente y alcanza su máxima concentración en la sangre transcurridos unos 45 minutos. Cabe resaltar que la ribosa es un tipo de azúcar especial que no eleva los niveles de glucosa ni de insulina en la sangre. Es más, cuando se consume como suplemento, puede reducir los niveles de glucosa sanguínea.

Debemos tener en cuenta a la ribosa siempre que nos encontremos ante un trastorno de energía o fatiga tanto muscular como mental.

Pero de nada sirve la ribosa si existe una deficiencia de magnesio, esencial para activar la enzima encargada de unir los grupos fosfato a la ribosa, llamada «ATP sintasa». Para que el ATP sea biológicamente activo debe unirse a un ion de magnesio. Sin magnesio, no hay energía, no existe la posibilidad de poder unir los grupos fosfato al resto de la molécula ATP, ni que ésta sea activa. Su papel es tan importante que, más que ATP, deberíamos llamarlo Mg-ATP.

Por ello, los efectos de la ribosa aumentan cuando se toma junto con magnesio. Así que, cuando hablamos de fatiga, cansancio, dolor y tensión muscular, debemos pensar en la ribosa y en el magnesio. También nos será útil la creatina, pero ya lo veremos más adelante.

4.3. Extraer la energía: la hidrólisis

Como hemos visto anteriormente, cada molécula de ATP consta de tres grupos de fosfato unidos entre sí por enlaces **fosfoanhídridos**, conocidos también como «de alta energía» porque para generar los enlaces se necesita aportar una gran cantidad de energía que será liberada cuando los enlaces se rompan.

Bien, ya conocemos la estructura de cada molécula de ATP, pero ¿cómo obtenemos la energía? Lo que hacemos es romper los enlaces químicos de los alimentos para liberar la energía que llevan dentro, que usamos para generar los enlaces del ATP y tenerla almacenada para cuando la necesitemos. Es decir, el ATP sería una especie de pila o batería que recolecta la energía que introducimos en el cuerpo a través de los alimentos y la almacena en su interior, preparada para usarla en cualquier acción que sea necesaria.

La energía producida en las reacciones catabólicas es almacenada en los enlaces de alta energía de la molécula.

Cuando la célula necesita energía, lo que hace es activar una enzima llamada «ATPasa». (Recuerda esto: la terminación «-asa» en fisiología siempre hace referencia a una enzima.) La ATPasa es la encargada de romper los enlaces de alta energía mediante un proceso de hidrólisis, lo que quiere decir que crea una ruptura mediada por agua. Al hidrolizar el ATP, éste pierde un grupo fosfato convirtiéndose en ADP (difosfato de adenosina) + fósforo inorgánico y liberando una

gran cantidad de energía.

El ATP se hidroliza a ADP en la siguiente reacción:



$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i + \text{energía}$$

Las reservas celulares de ATP son muy pequeñitas; simplemente cubren las reacciones químicas que se están dando en ese momento en la célula, por lo que el ATP se tiene que estar generando de forma continua a la par que se va agotando.

La hidrólisis de ATP en ADP es reversible. La reacción inversa, que regenera ATP a partir de ADP y P, requiere energía. **De esta forma, podemos considerar el ATP y el ADP una especie de batería recargable, en sus formas cargada y descargada**. El ATP, la batería cargada, tiene energía que puede ser utilizada para alimentar reacciones celulares anabólicas. Una vez que la energía ha sido utilizada, la batería descargada (ADP) debe recargarse, absorbiendo la energía producida en las reacciones catabólicas, antes de poder usarla de nuevo como fuente de poder.

Vamos a verlo con un ejemplo. Imagina que has salido de casa y, como cada mañana, vas andando hacia la parada del autobús que debes coger para llegar al trabajo. Cuando te queda una calle para llegar, ves al autobús pasar a tu lado. Vas con el tiempo justo y no puedes arriesgarte a perderlo, así que echas a correr tras él y llegas a la parada a tiempo. Lo que ha pasado aquí, además de darte cuenta de que deberías salir de casa cinco minutos antes el próximo día, es una intensa secuencia metabólica que se ha desarrollado en el interior de tus células. Las acciones que acabas de hacer (correr, pero también pensar y decidir echar a correr) han requerido energía, que ha salido de las reservas de ATP que se han liberado gracias al papel de la enzima ATPasa.

Pero el proceso no acaba aquí. El ritmo de generación de ATP siempre tiene que ir acoplado al gasto, de forma que cuando realizamos un movimiento intenso como ese correr para evitar que se nos escape el bus, agotamos el ATP en el músculo y aumentamos el ADP (adenosindifosfato) + fósforo inorgánico libre en la célula. Nuestra batería recargable se ha vaciado. Esta elevación de ADP en el miocito (la célula muscular) activará los llamados sistemas energéticos, una serie de procesos fisiológicos catabólicos que se dan en nuestro cuerpo para generar ATP. El cuerpo registra la pérdida de energía y se encarga de recargarla.

Ahora mismo, es posible que estés pensando que al ADP le queda todavía otro enlace fosfoanhídrido de alta energía. Tienes toda la razón. En ciertas circunstancias, ese enlace puede ser hidrolizado para liberar más energía, generando monofosfato de adenosina (AMP) y un fosfato inorgánico.

Lo que ocurre es que el segundo enlace de alta energía libera

mucha menos que el primero y a esto se suma que reconvertir el AMP en ATP (añadiendo dos grupos fosfato) es un proceso mucho más costoso en proporción a la adición del grupo fosfato al ADP para convertirlo en ATP. Expresado con más sencillez: cuesta más recuperar la energía cuando se ha gastado casi toda que cuando se ha mantenido una reserva, igual que a ti te cuesta más recuperarte de una jornada agotadora que de un día en el que sólo has hecho una hora de deporte. Esto hace que la célula hidrolice el ATP hasta AMP sólo en casos de alta demanda energética y, una vez que esto ocurre, la célula prefiera generar nuevo ATP antes que «rearmarlo» a partir del AMP.

Cuando la célula no puede recargar el AMP, éste se degrada en adenosina (una molécula de adenina y ribosa) y un fósforo. Tanto el acúmulo de adenosina como el de fósforo en una célula es señal de agotamiento energético, que nos lleva a la fatiga tanto muscular como cognitiva, dependiendo si el acúmulo de AMP y fósforo se está dando en mayor medida en el músculo o el cerebro.

El cerebro es el órgano que más energía gasta

Aunque supone sólo el 2 por ciento del peso medio de una persona adulta, el cerebro consume más del 20 por ciento de la energía que generamos. Cuando en el cerebro se acumula la adenosina, automáticamente nos sentimos cansados y fatigados, ya que si el cerebro no percibe energía, no permite conducta.

Quizá el mejor mecanismo para limpiar de adenosina el cerebro sea el sueño. De hecho, la acumulación de adenosina, fruto de la actividad metabólica cerebral, es uno de los factores que nos hace sentir cansados y con necesidad de dormir por la noche.

La cafeína presente en el café bloquea los receptores de adenosina, por lo que, aunque no detiene su producción, el cerebro no se percata de su aumento. Por eso, tomarte un café hace que te sientas menos cansado, pero, cuando los efectos de la cafeína van desapareciendo, como la acumulación de adenosina no se ha reducido, el cansancio te vendrá de golpe de nuevo.

5
Todo sobre el magnesio

Hay pocos compuestos que tengan más importancia en el mantenimiento de nuestra salud que el magnesio. El magnesio es un mineral esencial para activar la función de 325 reacciones bioquímicas que se producen en nuestro organismo, incluyendo la producción de **energía (síntesis de ATP)** en las mitocondrias, además del mantenimiento **del ADN tanto celular como mitocondrial y la síntesis de proteínas**.

5.1. Sin magnesio, no hay energía celular

La lista de tareas que realiza el magnesio en el mundo natural es casi interminable. En las plantas es fundamental para que puedan realizar fotosíntesis en sus hojas y, de hecho, es el que les da su color verde, presente en la clorofila. Sin magnesio, las plantas no podrían convertir la energía del sol en alimento, así que imagina lo que le debemos. Pero la relevancia del magnesio se extiende a todos los seres vivos; es tal su importancia que es el único nutriente que tiene una revista científica dedicada a él, *Magnesium Research*.

Sabemos que, dentro de la célula, el magnesio se encuentra sobre todo almacenado en las mitocondrias. No es casualidad, ya que este mineral, por varios motivos, es vital para el correcto funcionamiento de la maquinaria energética celular.

Recuerda que el magnesio es imprescindible para activar la ATP sintasa, la enzima encargada de generar el ATP. Además, para que el ATP sea activo, debe incorporar magnesio a su estructura (Mg-ATP). En resumen, sin magnesio no hay energía.

Las enzimas que operan en las mitocondrias para la producción de energía tanto en el ciclo del ácido tricarboxílico (ciclo TCA) como en la cadena de transporte de electrones dependen del magnesio. Incluso algunos estudios concluyen que es su regulador más importante. Además, el transportador que exporta el ATP que se produce en la mitocondria al citoplasma celular también depende del magnesio. Con déficit de magnesio no sólo se produce menos ATP, sino que tampoco puede salir de la mitocondria para ser usado.

Además, el magnesio tiene un papel protagonista en la producción de glutatión, el antioxidante maestro del cuerpo. Los resultados de varios estudios muestran que las mitocondrias con menos magnesio son más susceptibles al daño por estrés oxidativo, incluido su ADN mitocondrial.

La deficiencia de magnesio también altera la forma de las mitocondrias. ¿Recuerdas que, en la mayoría de los casos, su morfología normal es tubular? Cuando carecen de magnesio, sin embargo, las mitocondrias se deforman y se hinchan. Esta morfología

mitocondrial anormal se asocia con cáncer, obesidad, diabetes tipo 2 y trastornos neurodegenerativos como la enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson. Por si fuera poco, también afecta al número de mitocondrias, ya que éstas requieren de magnesio para llevar a cabo la biogénesis mitocondrial.

En conclusión, una desregulación de la homeostasis mitocondrial del magnesio interrumpe la producción de ATP a través de la alteración de la función, la morfología y el número de mitocondrias. Todo esto conlleva una disminución del suministro de energía en las células que provoca su mal funcionamiento y, con ello, la susceptibilidad a múltiples enfermedades.

5.2. Funciones del magnesio en nuestro organismo

Magnesio y huesos

Después del calcio y el fósforo, el magnesio es el mineral más abundante en los huesos. Además de formar parte de su estructura mineral, el hueso es la principal reserva de magnesio del cuerpo, que se libera ante la necesidad. Precisamente por esto, ante un déficit de magnesio, nuestro organismo literalmente destruirá hueso para obtener magnesio. Por eso, un mayor consumo de magnesio se asocia con una mejor densidad ósea, ya que no obligamos al cuerpo a acceder a esa reserva extra a costa de mermar nuestros huesos.

Magnesio e inflamación

El magnesio es fundamental para **combatir la inflamación**. Su deficiencia activa automáticamente genes proinflamatorios relacionados con la inflamación crónica de bajo grado que, a su vez, contribuyen a multitud de enfermedades y, por supuesto, a la disfunción mitocondrial. Al contrario, la elevación del magnesio reduce la inflamación de nuestro organismo que está detrás de múltiples problemas de salud.

Salud cardiovascular y metabólica

Como hemos visto, las mitocondrias no funcionan sin magnesio, porque no son capaces de usar el combustible para producir energía. Esto hace que tanto la grasa como la glucosa no puedan ser captadas por la célula y acaben acumuladas en las arterias. Ésa es la razón por la que la deficiencia de magnesio se relaciona con niveles sanguíneos de glucosa y lípidos (triglicéridos y colesterol) elevados.

El magnesio es especialmente necesario en el metabolismo de la glucosa, dado que las mitocondrias necesitan más magnesio para usar la glucosa como combustible que para usar grasas. Sin magnesio, el azúcar no puede ingresar correctamente en la célula, se eleva en sangre y, por lo tanto, aumenta el riesgo de diabetes. Sabemos que por cada 100 mg al día adicionales de magnesio en la dieta, el riesgo de diabetes tipo II se reduce en un 10 por ciento.

Como veremos más adelante, el magnesio es fundamental para

una correcta función de las mitocondrias musculares. Recuerda que el corazón es un músculo y como tal se beneficiará de unos buenos niveles de magnesio; tanto es así que una mayor ingesta de **este mineral se relaciona hasta con un riesgo un 20 por ciento** menor de insuficiencia cardiaca e hipertensión arterial. Vale la pena recordar **que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de mortalidad a nivel mundial**.

Magnesio y musculatura

La musculatura, tanto por extensión como por capacidad de consumir energía (cuando hacemos uso de ella), es el tejido corporal, junto con el cerebro, con mayor densidad de mitocondrias. Si has ido comprendiendo el papel clave del magnesio en ellas, ya te podrás imaginar la importancia que tiene el magnesio en el músculo.

El magnesio no sólo regula el tono muscular en reposo, sino que también mejora su capacidad de contracción, facilitando que las mitocondrias musculares capten glucosa y reciclen mejor el lactato, retrasando la fatiga muscular y mejorando el rendimiento deportivo.

Este mineral también tiene un papel importante en la contracción muscular. De hecho, la falta de magnesio es sinónimo de contracturas y calambres musculares, incluidas las de aquellas personas que tienen tanta tensión en la musculatura cervical que les producen los llamados «dolores de cabeza tensionales». Como fisioterapeuta que soy, veo estos casos en mi día a día de consulta y no te exagero si te digo que el magnesio es mi suplemento preferido para ayudar a estas personas.

Magnesio y cerebro

¿Recuerdas cuánta energía consume, de media, nuestro cerebro? A pesar de representar sólo el 2 por ciento del peso total, necesita el 20 por ciento de nuestra energía para funcionar. Para producir esta ingente cantidad, cuenta con la mayor densidad de mitocondrias. Como resulta obvio, un mal funcionamiento mitocondrial impactará negativamente en la salud cerebral. Al contrario, todo lo que beneficie a nuestras mitocondrias, beneficiará a nuestro cerebro. Por esto y por más razones, el magnesio es básico para un cerebro sano.

El magnesio activa las mitocondrias y regula neurotransmisores como la acetilcolina (memoria), la dopamina (motivación), la serotonina (bienestar) y la GABA (relajación). Por eso, resulta fundamental para mantener funciones cognitivas como la memoria y la capacidad de concentración, indispensables para ser las personas que somos. Además, varios estudios muestran los efectos positivos de la suplementación con magnesio en estados depresivos, de ansiedad y/o estrés, mejorando nuestro estado de ánimo. Al incrementar la energía cerebral, el magnesio se convierte en una gran herramienta contra la fatiga y, al mismo tiempo, contribuye a mejorar la calidad y la cantidad del sueño.

Hablando de mitocondrias, magnesio y cerebro, no podemos olvidar un trastorno como la migraña, que genera gran sufrimiento para aquellas personas que lo padecen y que se relaciona con una disfunción mitocondrial en determinadas áreas cerebrales. Aquí la suplementación con magnesio, según varios metaanálisis de revisión, alivia la frecuencia y la intensidad de la migraña. En mi experiencia, funciona aún mejor combinada con creatina y coenzima Q10, de las que tendremos tiempo de hablar en otros capítulos.

5.3. Deficiencia de magnesio y sus síntomas

Como término medio, tenemos entre **25 y 30 g de magnesio** en nuestro cuerpo. La mayor parte (un 55 por ciento) se encuentra en los huesos, que sirven como almacén del que se extrae cuando se detectan carencias. El resto se reparte entre los músculos (25 por ciento) y los otros tejidos (19 por ciento). El magnesio circulante en sangre se reduce a un 1 por ciento.

Por este motivo, detectar una deficiencia de magnesio en base a una analítica sanguínea es bastante difícil. Aunque los valores de referencia para el magnesio en una analítica se sitúen entre los 1,8-2,5 mg/dl, diversos estudios ponen de manifiesto que el rango ideal sería de > 2,0-2,1 mg/dl. En otras palabras: unos niveles en sangre de magnesio por debajo de 2,19 mg/dl nos están mostrando una deficiencia funcional del magnesio. Nuestro cuerpo sobrevivirá, pero no va a tener una función óptima.

Como el magnesio se encuentra dentro de las células y no tanto disuelto en el plasma sanguíneo, una manera más fiable para medir su nivel es testarlo a nivel celular. Afortunadamente, tenemos unas células muy accesibles para ello: los glóbulos rojos. Medir este magnesio, lo que se llama «magnesio eritocitrario», es la manera más recomendable para obtener una buena información de su presencia en nuestro cuerpo.

Aunque no sea fácil medir su deficiencia, no significa que la carencia de magnesio sea algo extraño. Al contrario, las estadísticas recientes revelan que alrededor del 30 por ciento de la población en los países desarrollados presenta deficiencias en los niveles de este valioso mineral. Según la evidencia científica, la hipomagnesemia funcional, dadas sus consecuencias, debería ser un motivo de preocupación para la salud pública.

Causas del déficit de magnesio

La primera causa de deficiencia de magnesio es simple: una baja ingesta. Además de contener muy poco magnesio, las harinas refinadas y el consumo de azúcar, como hemos visto, nos roban una parte. Por su parte, la carne y los lácteos contienen menos magnesio que las hojas verdes y los productos del mar.

El problema de la baja ingesta se ve agravado por unos suelos

empobrecidos en magnesio, consecuencia de la agricultura intensiva, que hace que los vegetales cada vez contengan menos carga de este mineral.

En general, comemos pocos vegetales —con poco magnesio— y, por si fuera poco, ello puede verse agravado por trastornos intestinales y/o un alto consumo de cereales (ácido fítico) que reducen su absorción. También nos afecta el uso continuado de medicamentos como diuréticos, supresores del ácido gástrico (omeprazol), antihipertensivos o corticoides, entre otros, que disminuyen los niveles celulares de magnesio.

Otra cuestión que se debe tener muy en cuenta es que el estrés crónico demanda mucho magnesio. Y que levante la mano quien hoy en día no se siente más o menos estresado.

Ingesta diaria recomendada de magnesio

En general, se recomienda un mínimo de 400 a 450 mg/día para hombres y de 300 a 350 mg/día para mujeres, pero esto no significa que un mayor consumo de magnesio sea peligroso para nuestra salud. Al contrario, según varios estudios, las personas que consumen más de 500 mg/día muestran una mejor salud.

Síntomas de deficiencia de magnesio

Si tienes síntomas como cansancio generalizado, irritabilidad, ansiedad, dolor, contracturas y calambres musculares, dolores de cabeza, sensación de vértigo o mareo, arritmias y taquicardias, problemas para dormir o estreñimiento crónico podría deberse, en parte, a una deficiencia de magnesio.

Otros signos característicos que nos hacen pensar en déficit de magnesio son la presencia de nistagmos (movimientos rápidos e involuntarios de los ojos), tics, fasciculaciones y temblores musculares, así como la aparición de líneas longitudinales en las uñas.

Si los niveles de magnesio no se restauran y se mantienen bajos en un período extenso de tiempo, facilitarán el desarrollo de muchas enfermedades relacionadas con el envejecimiento, como la osteoporosis, las enfermedades metabólicas y cardiovasculares, las enfermedades neurodegenerativas, afecciones musculoesqueléticas e incluso cáncer.

5.4. Fuentes nutricionales y suplementos

Si aspiramos a tener unos niveles óptimos de magnesio, debemos asegurarnos una ingesta elevada de alimentos ricos en este mineral, como:

- **Verduras de hoja verde**: como espinacas, acelgas y kale
- **Otras verduras**: como la remolacha y el brócoli
- **Frutos secos**: en especial las almendras, los anacardos y las semillas de calabaza
- **Alimentos del mar**: en especial las gambas, los berberechos, los

mejillones y el pescado azul

- **Frutas**: como los aguacates, el plátano, las frambuesas o el limón
- **Cacao**: muy rico en magnesio

Sin embargo, como ya hemos visto, gran parte de nuestra comida se cultiva en suelos empobrecidos en magnesio, lo que, unido a los demás factores, puede hacer que tengamos déficit incluso comiendo estos alimentos. Por ello, un suplemento de magnesio puede ser una gran idea, especialmente para aquellas personas que están en mayor riesgo debido a la ingesta de cualquiera de los medicamentos mencionados anteriormente.

Suplementos de magnesio

Puede que alguna vez te haya extrañado la amplia gama de suplementos de magnesio que existen en el mercado. En los suplementos, el magnesio elemental va unido a otros compuestos, por lo que en función de la sustancia a la que se encuentre unido, el suplemento tendrá diferente biodisponibilidad y distinta tolerabilidad y aportará más o menos magnesio. Ésa es la razón que explica la infinita variedad de opciones.

Debemos elegir aquéllos que tengan una alta biodisponibilidad (buena absorción), que aporten la cantidad adecuada de magnesio elemental (más importante que la dosis del suplemento total) y que tengan una buena tolerabilidad intestinal (que no nos produzcan molestias). En este sentido, formas como el sulfato de magnesio, el óxido de magnesio, el hidróxido de magnesio y el cloruro de magnesio tienen una absorción muy limitada en nuestro organismo y a menudo presentan efectos secundarios gastrointestinales no deseados.

Por el contrario, formas como el citrato de magnesio, el bisglicinato de magnesio, el treonato de magnesio o el malato de magnesio ofrecen mayor biodisponibilidad y mejor asimilación y es menos probable que causen náuseas, hinchazón o diarrea. Por diferentes motivos, mis dos formas favoritas son el glicinato de magnesio y el malato.

El ácido málico, un gran aliado del magnesio

En mi experiencia, a la hora de mejorar la función de las mitocondrias y, por tanto, los niveles de energía de nuestro organismo, la mejor forma de magnesio sería sin duda el malato de magnesio. Esto tiene que ver no sólo con el magnesio, sino con el ácido málico, un ácido graso de cadena corta al que va unido.

Magnesio y ácido málico = Malato de magnesio

El ácido málico es una sustancia que se encuentra en alimentos con ligero sabor ácido como cerezas, albaricoques, arándanos, ciruelas, peras, piña, grosellas, frambuesas y, sobre todo, en las manzanas, especialmente las verdes. De hecho, su nombre proviene de la palabra en latín *malum*, que significa ‘manzana’. El vinagre de

manzana es una fuente excepcional de ácido málico.

Según el trabajo del investigador Mark Shigenaga, el ácido málico se absorbe fácilmente a nivel intestinal y es una gran fuente de energía para las mitocondrias. Desempeña un papel protagonista en la producción de ATP, por lo que potencia la función mitocondrial del magnesio y mejora su absorción.

El malato de magnesio es un suplemento ideal para combatir la fatiga, incluso cuando hablamos de patologías como la fibromialgia. En un estudio de intervención publicado en *The Journal of Rheumatology* se demostró que tomar ácido málico (2.400 mg) en combinación con magnesio (600 mg) ayudó a aliviar la fatiga, el dolor y la tensión muscular en personas con fibromialgia.

Bisglicinato de magnesio

El glicinato o bisglicinato de magnesio combina al magnesio con el aminoácido glicina. La suma de estas dos moléculas actúa como un calmante del sistema nervioso, mejorando tanto la cantidad como la calidad del sueño y la relajación.

Dosis de suplementación

La dosis estándar recomendada de suplementación de magnesio está **entre 240 y 480 mg/día**, dependiendo de la ingesta diaria en la dieta y atendiendo también a las necesidades individuales.

Personalmente, a mí me gusta individualizar la dosis, por lo que suelo recomendar 5 mg de magnesio por kilo de peso corporal al día. Por ejemplo, para una persona de 80 kg recomendaría 400 mg de magnesio al día, aunque, ante circunstancias desfavorables, la necesidad de magnesio puede aumentar incluso de 500 a 600 mg/día.

Yo suelo usar suplementos de magnesio en polvo (mejor que comprimidos), ya que habitualmente son más baratos y permiten dosificarlos mejor, a pesar de presentar el pequeño inconveniente del sabor. En cuanto al número de tomas y la hora del día de las mismas, recomiendo dividir la dosis en dos tomas: la mitad por la mañana, en forma de malato de magnesio, y la otra mitad de la dosis en forma de bisglicinato por la noche, entre 30 y 60 minutos antes de dormir.

Para ver los efectos positivos de la suplementación con magnesio se necesita un tiempo, que puede variar de unos días a semanas. Para alcanzar un efecto duradero, la suplementación debe mantenerse unos meses. Personalmente, dada la facilidad de incurrir en deficiencia, yo prefiero cubrirme las espaldas, por lo que lo tomo a diario desde hace años. Más que un suplemento, lo considero un alimento más.

6

El metabolismo energético

En los últimos capítulos nos hemos asomado al microscopio y hemos hablado de la moneda energética, el ATP, y del magnesio. Ahora toca agrandar el foco y atender a procesos más amplios: conozcamos la «economía celular del ATP», cómo se gana y en qué se gasta. Hablemos del **metabolismo**.

Seguro que cuando escuchas la palabra «metabolismo», rápidamente la asocias con las calorías y la pérdida de peso. Esto es una idea muy nociva que la vida moderna nos ha metido en la cabeza. Esta asociación no es falsa, pero sí insuficiente. Enfocarlo todo al peso y a las calorías es algo muy reduccionista y nos lleva a errores de tal magnitud como afirmar que la solución a la obesidad se reduce a **«menos plato y más zapato»**.

La obesidad no es sólo una cuestión de calorías, de ingerir menos y quemar más. Es una cuestión de gestión ineficiente de la energía, fruto de un metabolismo maltratado sostenido por unas mitocondrias enfermas. Factores como la microbiota, los tóxicos, la luz solar, el contacto con la naturaleza, los ritmos circadianos o el impacto del estrés crónico, entre otros, influyen, y mucho, en nuestro peso.

Pero la alteración del metabolismo no sólo conduce a obesidad. Tras todas las patologías crónicas modernas, como las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, autoinmunes e incluso el cáncer, subyacen la falta de energía y, por tanto, los fallos de nuestras mitocondrias. De ahí la tremenda importancia de tener un metabolismo sano. Pero... ¿qué es el metabolismo?

El metabolismo energético es el conjunto de reacciones químicas por las cuales el organismo transforma la energía que procede de los alimentos.

Como ya hemos aprendido, la energía es el primer paso para que puedan suceder todas las acciones que el cuerpo necesita. El metabolismo hace referencia a todos esos procesos en los que interviene la energía, por lo que, en otras palabras, se trata de la gestión que hace nuestro cuerpo de ella, de dónde la extrae y en qué la invierte.

6.1. LA CONTINUA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

Recuerda la primera ley de la termodinámica: «La energía ni se crea, ni se destruye; se transforma». Lo mismo pasa dentro de nuestras células, donde se producen reacciones químicas que generan energía y otras que la utilizan. Este balance es la síntesis del metabolismo.

Demos unos pasos atrás para llegar a comprender lo fundamentales que son estos intercambios de energía en la existencia. El dador primordial de energía es el sol que, con su luz, baña las plantas. Gracias a los cloroplastos, las células encargadas de la fotosíntesis (primos hermanos de nuestras mitocondrias) que hacen de paneles solares, las plantas capturan la luz y la utilizan como energía. Con ella, mediante enlaces químicos, ensamblan el CO_2 captado de la atmósfera y el agua y minerales extraídos del suelo y los transforman en hidratos de carbono y grasas que usarán como combustible energético para producir ATP, así como aminoácidos para construir las proteínas que conformarán parte de su estructura. Podríamos decir que las plantas son capaces de transformar la energía lumínica en química.

Esas plantas serán comidas por los animales herbívoros, que las digerirán extrayendo de ellas, por una parte, tanto sus hidratos de carbono como sus grasas, que usarán como combustibles, y, por otra, los aminoácidos que serán empleados para formar sus propias proteínas. Con ellas conformarán sus músculos y órganos.

Los animales carnívoros no pueden extraer su sustento de las plantas, por lo que necesitan alimentarse de los animales herbívoros. Igual que las plantas se nutren del sol y los herbívoros de las plantas, los animales carnívoros usarán éstos como fuente de hidratos de carbono, grasas y proteínas.

Por último, el *Homo sapiens*, al ser de naturaleza omnívora, puede recurrir tanto a las plantas como a otros animales para asegurarse su sustento energético.

Anabolismo y catabolismo

Las reacciones químicas que conforman el metabolismo energético, según generen o absorban energía, se pueden dividir en dos grandes grupos: **el catabolismo** y **el anabolismo**.

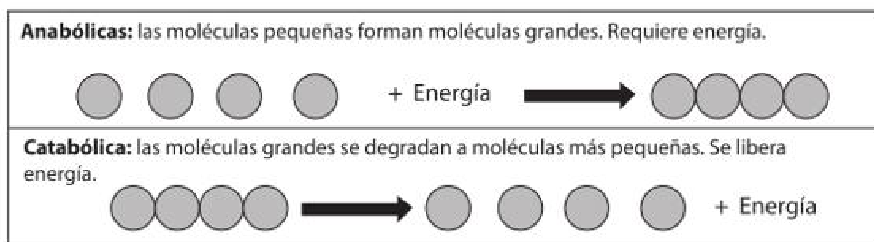
La mayor parte de las veces que usamos el término «metabolismo» nos referimos al **catabolismo**. Se trata del conjunto de reacciones químicas exotérmicas que tienen lugar en nuestro organismo y que liberan la energía retenida en enlaces químicos, rompiéndolos. En esta fase, las moléculas complejas que forman los alimentos se van rompiendo poco a poco, convirtiéndose en moléculas cada vez más sencillas, liberando la energía contenida en sus enlaces. Por eso

resultan ser reacciones energéticas favorables: suman energía.

Por el contrario, las reacciones químicas que componen **el anabolismo** son de tipo endotérmico: las células utilizan esa energía liberada para mantener su funcionamiento y sintetizar moléculas complejas a partir de moléculas más simples con el fin de reparar y/o construir nuevos componentes (biosíntesis). La síntesis de moléculas complejas a partir de otras más simples supone la formación de enlaces entre ellas y para ello es necesario un aporte de energía. Podríamos resumirlas como reacciones energéticamente desfavorables, que restan energía.

Sabiendo esto, podemos resumir el funcionamiento de nuestro organismo como un continuo devenir de reacciones químicas a nivel celular para producir y usar energía. Las exotérmicas, que producen energía, cargan la batería de nuestro cuerpo. Las endotérmicas, que necesitan energía para suceder, desgastan la batería.

Ilustración 4. Rutas metabólicas



Fuente: Elaboración propia.

6.2. Catabolismo y AMPK

Ya tenemos claro que el catabolismo es la forma que tiene nuestro cuerpo de producir energía. Veamos en qué la puede convertir:

- **Energía química**: necesaria para sostener el anabolismo y el mantenimiento celular.
- **Energía eléctrica**: necesaria para el funcionamiento del sistema nervioso.
- **Energía mecánica**: en forma de contracción muscular para producir movimiento (incluido el movimiento de tu corazón e intestinos).
- **Energía térmica**: para generar calor.

Nuestras células pueden obtener energía a partir de la glucosa, sin necesitar sus mitocondrias, pero esta manera rudimentaria de generar energía no es compatible con la salud. Por eso podemos afirmar que para obtener la energía para vivir, necesitamos de nuestras viejas compañeras.

La activadora a nivel celular de las reacciones catabólicas es la AMPK, la proteína quinasa activada por AMP. Esta proteína actúa como un sensor energético que detecta la carencia de ATP y pone en marcha los mecanismos para obtenerlo, usando como combustibles tanto grasa como glucosa. Imagina que tu teléfono, al detectar que le queda poca batería, pudiera ponerse automáticamente en modo carga; algo así consigue hacer la AMPK con tu cuerpo.

La AMPK se activa ante condiciones de estrés energético, como la poca disponibilidad de alimento (restricción calórica y/o ayuno) y oxígeno (hipoxia), cuando baja la temperatura o cuando nos movemos con una intensidad suficiente (ejercicio). Además, la AMPK tiene dos grandes aliados en la melatonina, en forma de sueño reparador, y en los fotones NIR, que obtenemos de la luz infrarroja del sol.

La AMPK es una activadora del metabolismo tan potente que, cuando la necesidad energética aprieta, es capaz de obligar a la célula a «quemar» componentes que ya no usa para generar energía en un proceso denominado **«autofagia»**, que literalmente significa «comernos a nosotros mismos». Esta suerte de reciclaje y renovación celular, cuando afecta a las mitocondrias, se llama, como seguro que has adivinado, **«mitofagia»**.

Es posible que ahora estés pensando que para alcanzar la autofagia necesitas pasarte dos días sin comer. Al fin y al cabo, devorarse a uno mismo no parece un extremo al que se puede llegar con facilidad, ¿verdad? Tranquilo, que no es así.

La autofagia **aparece gradualmente**, no se activa de repente tras un número mágico de horas desde la última comida. No necesitas ayunos muy prolongados para obtener buena parte de sus beneficios. Según muchos estudios, simplemente alargando un poco más el ayuno nocturno (> **13 horas**) podemos alcanzar un grado más que aceptable de autofagia.

Además de la activación del catabolismo y la autofagia, la AMPK aporta el gran beneficio adicional para nuestras mitocondrias de activar la vía molecular Nrf2, que se traduce en la producción de moléculas protectoras de las mitocondrias, como las sirtuinas y las enzimas antioxidantes, y en la creación de más biogénesis mitocondrial. Recuerda que este término, que vimos en el capítulo 3, se refiere a generar nuevas mitocondrias.

Combustibles energéticos

Éste es un tema tan extenso que nos daría para un libro entero. Aun corriendo el riesgo de dejar cosas en el tintero, intentaré simplificártelo al máximo. Tu cuerpo puede usar tres tipos de combustible: la glucosa, los ácidos grasos y los cuerpos cetónicos. Estos combustibles vienen de los macronutrientes: **el carbohidrato, la grasa y la proteína**.

Después de comer, tu cuerpo digerirá los macronutrientes presentes en los alimentos, descomponiéndolos en moléculas más sencillas que pasarán a la sangre para ser usadas como combustible donde se necesite (catabolismo) o para ser almacenadas (anabolismo).

- Los carbohidratos se descompondrán en las moléculas más simples que los componen, conocidas como «monosacáridos», la glucosa y la fructosa, principalmente.
- Las grasas se descompondrán en ácidos grasos y glicerol que viajarán juntos en forma de triglicéridos.
- La proteína ingerida será descompuesta en aminoácidos que tendrán fundamentalmente un papel estructural para armar proteínas propias necesarias para construir músculo, colágeno, hormonas, neurotransmisores...

En caso de necesidad o ante un exceso de consumo de proteína, los aminoácidos se podrán convertir a nivel hepático en glucosa para ser usados como combustible, en un proceso conocido como «gluconeogénesis». El mismo proceso debe aplicarse al glicerol.

Algo importante con respecto a la fructosa, presente principalmente en la fruta, es que no puede ser utilizada como combustible, sino tiene que convertirse en ácidos grasos en el hígado (lipogénesis de novo). Este proceso, que es normal, necesario y para nada problemático cuando comemos fruta, se convierte en un problemón cuando ingerimos alimentos ultraprocesados con fructosa añadida (proveniente del sirope de maíz) que alteran los lípidos sanguíneos y nos predisponen a desarrollar hígado graso no alcohólico.

Si has leído con atención, seguro que te estás preguntando por el último tipo de combustible. En efecto, ¿qué hay de los cuerpos cetónicos?

Los cuerpos cetónicos (acetoacetato y, especialmente, beta hidroxibutirato) son producidos en el hígado, en un proceso conocido como «cetogénesis». Surgen a partir del metabolismo de la grasa, ante condiciones de ayuno, a medida que se agotan las reservas de glucosa. A nuestras mitocondrias les encantan los cuerpos

cetónicos, porque más allá de servir como combustibles, mejoran su funcionamiento. De ahí que activar la cetogénesis, por ejemplo, con el ayuno intermitente, sea genial para nuestras amigas.

¿De dónde obtenemos este combustible? De la comida y de nuestras reservas.

FUENTES NUTRICIONALES	COMBUSTIBLE	RESERVAS
Hidratos de carbono	Glucosa	(sólo puede ser almacenada en forma de glucógeno)
	Aminoácidos	Músculo y otros tejidos (proteínas)
	Glicerol	Grasa corporal
	Ácidos grasos	Grasa corporal
	Cuerpos cetónicos	Grasa corporal

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Anabolismo y MTOR

Como ya hemos visto, mientras que el catabolismo produce energía, las **vías anabólicas** tienen como misión construir moléculas complejas a partir de otras más sencillas. Para esto, claro, necesitan de un aporte de energía.

Las reacciones anabólicas se pueden dividir en dos grupos:

- Anabolismo de construcción y mantenimiento.
- Anabolismo de producción y almacenaje de combustible energético.

Ilustración 5. Reacciones anabólicas

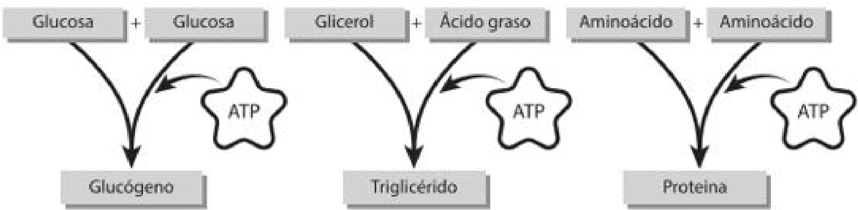


Ilustración: © Salomart.

Anabolismo de construcción y mantenimiento

Aquí englobamos todas las reacciones que tienen con ver con construir

y/o reparar nuevos componentes celulares para sustituir a los que se van dañando por el uso. Resumiendo mucho, éstas serían las relacionadas con la síntesis de proteínas, la base estructural de nuestro cuerpo. Cuando hablamos de proteínas, nos referimos a hormonas, enzimas y anticuerpos, pero también a lo que compone tus músculos, tus órganos, tus uñas, tu pelo, tu piel… Todas esas proteínas son combinaciones de 21 aminoácidos, las moléculas básicas de las que se componen las proteínas.

Anabolismo de producción y almacenaje de combustible energético

El otro gran grupo de reacciones anabólicas engloba todas las que acontecen si, después de digerir y absorber los alimentos ingeridos, el cuerpo no necesita usarlos como combustible. Si esto sucede, tomará la decisión de generar macromoléculas de almacenaje para cuando tengamos una demanda energética que cubrir, como el glucógeno (muscular y hepático) en el caso de la glucosa y la grasa para los ácidos grasos. Para llegar a ellas, usará dos procesos diferentes:

- **Gluconeogénesis**. Síntesis de glucógeno, una molécula de almacenaje compuesta por el ensamblaje de muchas moléculas de glucosa, que será almacenado tanto en el hígado como en el músculo.
- **Lipogénesis**. Síntesis de grasa (triglicéridos) para ser almacenado en el adipocito, la célula de reserva de grasa.

Algo muy interesante en este punto es que, si bien la glucosa es fundamental para la vida, no dependemos exclusivamente de la alimentación para obtenerla. Nuestro cuerpo puede producirla en un proceso conocido «glucogenogénesis» (¡no lo confundas con la gluconeogénesis!), donde el hígado utiliza otros sustratos, como los aminoácidos de la proteína o el glicerol de las grasas, para producir la glucosa necesaria.

Aunque podemos funcionar casi completamente con la energía procedente de la grasa, siempre necesitamos al menos una pequeña cantidad de glucosa para el cerebro.

Como vemos, así como hay aminoácidos esenciales y ácidos grasos esenciales (como los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y

omega 6), ambos a cargo de tareas estructurales en nuestro cuerpo, no existen hidratos de carbono esenciales. Su función es mayoritariamente energética, por lo que técnicamente nuestro cuerpo no los necesita. Podemos producir glucosa por nuestra cuenta. Esto tiene un sentido histórico, ya que, durante nuestro proceso evolutivo, los humanos cazadores-recolectores que vivían lejos del Ecuador pasaban las largas temporadas de invierno casi sin acceso a hidratos de carbono.

Con esto no pretendo decir que todos deberíamos eliminar los carbohidratos y adoptar una dieta cetogénica, exigiendo al hígado continuamente el trabajo adicional de producir glucosa. Sin embargo, tampoco es coherente el patrón de alimentación actual, en el que se demonizan la proteína animal y las grasas y se encumbran los hidratos de carbono. La aparición de harinas refinadas como la pasta y el pan en la base de la pirámide alimentaria y con recomendaciones oficiales de ingesta de hidratos de carbono de hasta el 60 por ciento del total de calorías resulta a todas luces excesivo, especialmente para una población eminentemente sedentaria.

mTOR, el activador del anabolismo

En los mamíferos, el activador celular del anabolismo es mTOR (*mammalian target of rapamacyn* o «diana de mamífero de la rapamicina»), una proteína ligada al crecimiento y el desarrollo. Debe su nombre a la rapamicina, la primera sustancia capaz de inhibirlo encontrada, que fue descubierta en la isla de Pascua (Rapa Nui).

Cuando la célula percibe abundancia, activará mTOR, que a su vez pondrá en marcha el anabolismo. Imagina un cartel luminoso con las palabras «A TRABAJAR» dentro de tus células, que se activa cuando el catabolismo ha producido la energía. Pero ¿cuál es el tipo de trabajo que toca hacer? ¿El de construcción o el de almacenamiento? ¿Cómo sabe mTOR a qué tipo de trabajo se refiere ese cartel parpadeante? Dependerá de qué abundancia perciba la célula: si es una abundancia de materiales y estímulos de construcción (proteínas y ejercicio) o de combustibles y estímulos de almacenamiento (glucosa, grasa, reposo, insulina e IGF1).

Ejercicio y mTOR

Como vas a ver a lo largo de los capítulos, el ejercicio es la medicina mitocondrial por excelencia. Movernos con la intensidad y la frecuencia adecuadas es esencial para sanar un metabolismo maltrecho, pero también para llevarlo a un nivel superior. Una de las claves del ejercicio está en su capacidad de encender mTOR en el músculo haciéndolo crecer (consumiendo para ello energía) y a la vez apagándolo en las células grasas.

Proteína y mTOR

Sin duda uno de los factores que frenan el metabolismo de muchas personas es la carencia de proteínas en su dieta. Sin ellas no obtenemos los aminoácidos necesarios para construir y reparar nuestro organismo, principalmente la musculatura. La ingesta de proteína sin entrenar la fuerza no te servirá de nada para mejorar tu masa muscular. Sin estos materiales de construcción, nuestras mitocondrias no tendrán la necesidad de producir energía destinada a este trabajo, por lo que reducirán su funcionamiento y, por lo tanto, el metabolismo. Además, si no le das a tu cuerpo la proteína que necesita, rugirá pidiéndotela con el único idioma que sabe, el hambre. Por ello, la proteína tiene un importante efecto saciante.

Según la evidencia científica actual, un aporte diario de proteína de alrededor de 1,5 g de proteína por cada kilogramo de peso es el necesario para cubrir nuestras necesidades y mantener un metabolismo saludable. Las fuentes alimentarias de proteína son primordialmente pescados, huevos y carnes y, en menor cantidad, los lácteos y las legumbres. Aquí tienes algunas orientaciones:

- 1 huevo de calidad = 6 g de proteína
- 100 g de carne magra o pescado = 20 g de proteína
- 100 g de tofu = 16 g de proteína
- 100 g de tempeh de soja = 17 g de proteína
- 100 g de queso fresco = 9 g de proteína

Las legumbres (excepto los preparados como el tofu o el tempeh) y los frutos secos tienen algo de proteína, pero, sobre todo, son fuentes de hidratos en el primer caso y grasas en el segundo. Esto no quiere decir que sean malos, simplemente que no aportan las proteínas necesarias. Si eres una persona vegana, posiblemente tengas que acudir, además de al tofu y al tempeh, a concentrados en polvo de proteína vegetal (de cáñamo, de arroz, de soja...) para cubrir tus necesidades diarias.

Insulina y mTOR

Si bien la abundancia de calorías en la dieta activa la proteína mTOR, en la práctica sabemos que el impacto es mínimo si esas calorías provienen de la grasa, en comparación con el impacto de la glucosa. Esto ocurre, en parte, gracias a la insulina y al factor de crecimiento IGF1, hormonas que son liberadas al elevarse la glucosa en sangre.

Al contrario que los ácidos grasos, la glucosa no puede ingresar por sí misma en la célula; necesita una llave que le abra la puerta, la insulina. La **insulina** es una hormona producida por nuestro páncreas

en respuesta a la cantidad de glucosa sanguínea. Si seguimos una dieta con exceso de hidratos de carbono simples, basada en harinas refinadas y productos ultraprocesados ricos en azúcar añadido, forzamos a nuestro páncreas a que produzca más insulina para facilitar la entrada de la glucosa en la célula.

Pero la insulina tiene también otra función, la de elevar mTOR a cantidades adecuadas, en un contexto de ejercicio físico regular y una adecuada ingesta de proteína. La insulina estimula el desarrollo de la masa muscular de manera eficiente, ya que lleva los aminoácidos al músculo y activa mTOR en él.

Sin embargo, la vida moderna dista mucho de ese contexto ideal de ejercicio físico y dieta sana. El día a día de muchos está dominado por el sedentarismo y basado en una dieta insana, donde la insulina campa a sus anchas tanto en cantidad como en tiempo, ya que nos pasamos el día comiendo desde temprano hasta muy tarde por la noche. El exceso de glucosa en sangre hace que el cuerpo produzca un exceso de insulina para tratar de absorberla y esa situación tiene víctimas colaterales. Una cantidad demasiado elevada de insulina sobreactiva mTOR en su modo de almacenamiento y lo frena en el modo de construcción. A costa de llevar una vida desordenada y sedentaria, perdemos el control de este gran aliado para el metabolismo.

Así, en función del estímulo y la frecuencia que reciba nuestro cuerpo, nos enfrentamos a dos posibles situaciones:

- Mucha insulina de manera crónica + sedentarismo + ultraprocesados = Grasa
- Picos estratégicos de insulina + ejercicio de fuerza + comida real rica en proteína = Músculo

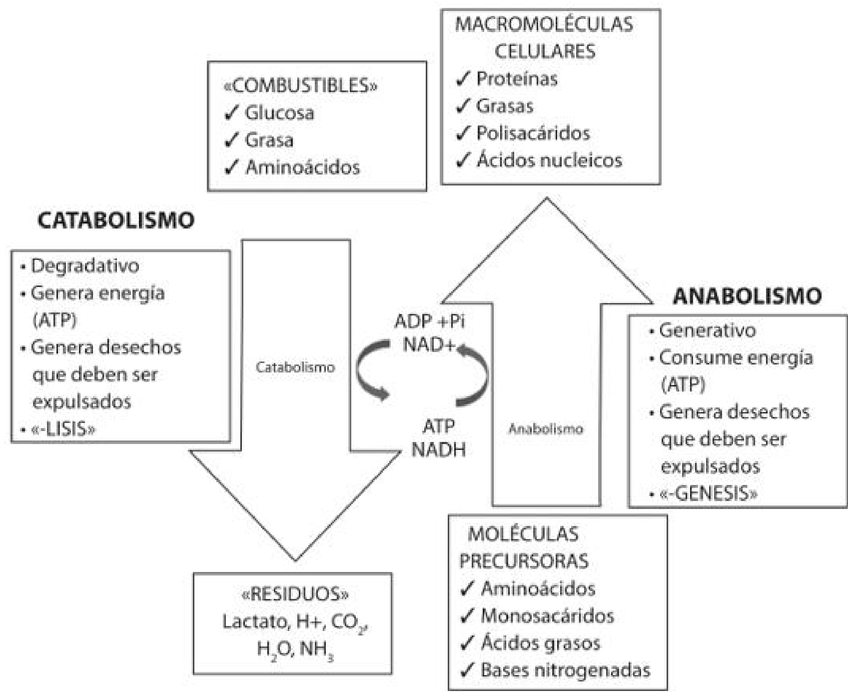
6.4. Flexibilidad metabólica

La salud es, en buena medida, flexibilidad y capacidad de adaptación. Una mente, un cuerpo y un metabolismo flexibles son sinónimo de organismo saludable. Por el contrario, igual que una mente rígida es el asiento para el dolor psicológico y un cuerpo rígido lo es para el dolor musculoesquelético, un metabolismo rígido incapaz de adaptarse a nuestras necesidades energéticas nos reportará «dolor energético». Y, con él, el sufrimiento de todas y cada una de nuestras células.

Por flexibilidad metabólica entendemos la capacidad de activar la AMPK cuando necesitamos producir energía y la mTOR cuando tenemos que regenerar nuestro organismo o almacenar combustible. Dentro de la flexibilidad metabólica también estaría la capacidad de usar los distintos combustibles energéticos, según la disponibilidad y la necesidad. Recuerda que para tener un metabolismo flexible son

indispensables unas mitocondrias abundantes y saludables.

Ilustración 6. El metabolismo en un *flash*



Fuente: Elaboración propia.

Aquí tienes un buen esquema para recordar lo que hemos visto en este capítulo. Lo que debe quedar claro es que tu metabolismo engloba todas las reacciones químicas que transforman la energía procedente de los alimentos y se dividen en las que producen energía (catabólicas) y las que la emplean en construir moléculas complejas (anabólicas). Dentro de ellas, los aliados más importantes serán las proteínas AMPK y mTOR.

AMPK	mTOR
Catabolismo	Anabolismo
Autofagia	Construcción
Biogénesis mitocondrial	Almacenaje
Estrés energético	Abundancia de energía
Ayuno, restricción calórica	Aminoácidos

Frío, calor Hipoxia intermitente Ejercicio físico aeróbico (mejor en ayunas) Glucosa Insulina / IGF-1 Ejercicio de fuerza (mTOR a nivel muscular)		

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la disfunción mitocondrial, la rigidez metabólica y cómo recuperarnos de ambas hablaremos más adelante. Por ahora, quédate con la idea de que mejorar nuestra relación con la insulina será fundamental y que la solución pasará, en parte, por disminuir la ingesta y la frecuencia de hidratos de carbono, por estimular con ejercicio físico la quema de los distintos combustibles y por usar moléculas como el magnesio que nos faciliten la tarea.

Ahora nos toca entender cómo usan nuestras células los distintos combustibles energéticos para producir ATP o, lo que es lo mismo, estudiar **la bioenergética celular** y entender el papel crucial de nuestras mitocondrias en este proceso.

Ilustración 7. Un breve vistazo a la bioenergética celular

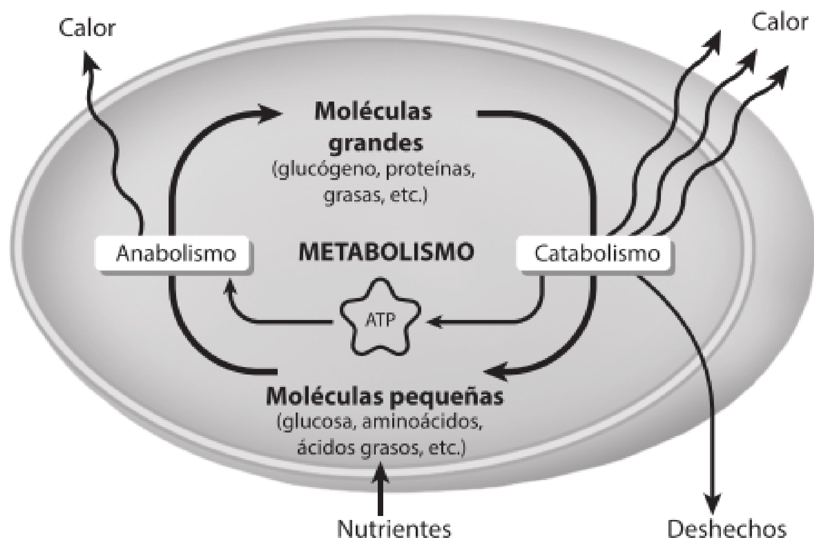


Ilustración: © Salomart.

7

Bioenergética: ¿cómo convierte nuestro organismo los nutrientes en ATP?

Llegados a este punto, ya sabemos que el ATP es la moneda energética que usan nuestras células para pagar las reacciones anabólicas. También hemos aprendido que extraemos esta energía de los combustibles que representan los alimentos por medio de una serie de reacciones que desprenden energía llamadas «catabólicas». Ahora toca profundizar en ellas o, lo que es lo mismo, hablar de los sistemas bioenergéticos.

7.1. Sistemas bioenergéticos

Las tres vías que tiene la célula para producir ATP son conocidas como **«sistemas bioenergéticos»**.

- El sistema de fosfágenos o anaeróbico aláctico: vía de la fosfocreatina
- El sistema glucolítico o anaeróbico láctico: vía de la glucólisis anaeróbica
- El sistema oxidativo o aeróbico, también conocido como respiración celular o mitocondrial. Se compone de la vía del ciclo de Krebs y de la fosforilación oxidativa

¿Qué sustrato energético usa cada sistema?

- El sistema de fosfágenos: fosfocreatina
- El sistema glucolítico: glucosa
- El sistema oxidativo: glucosa y grasa

Nuestra salud depende en buena medida de usar cada sistema bioenergético cuando toca y para lo que toca. La **flexibilidad metabólica**, que conocimos al final del último capítulo, trata exactamente de esto, de aprovechar los recursos con versatilidad, explotando cada vez la vía más adecuada. Antes de conocer en profundidad estas tres vías, tenemos que detenernos a hablar de motores. Sí, has leído bien: de motores.

Carburación versus inyección

Hace no tantos años, todos los motores de combustión, los que generan energía quemando algún tipo de combustible (gasolina y/o diésel), funcionaban por carburación. Estos motores eran menos eficientes que los actuales de inyección, porque la obsoleta tecnología de carburación gastaba más combustible para producir la misma energía y, además, generaba mayor cantidad de residuos; sólo tienes que recordar las tremendas humaredas que expulsaban los coches antiguos. En cambio, la moderna tecnología de inyección genera más energía con menos combustible y residuo.

Quizá te estés preguntando si no se me ha ido un poco el pistón, pero lo cierto es que esta analogía automovilística me viene de perlas para que entiendas la importancia de producir la energía donde toca, en las mitocondrias. La antigua carburación sería cómo consigue la energía una bacteria, mientras que la inyección sería la forma de obtener energía de una célula de nuestro organismo a través de sus mitocondrias, un proceso mucho más eficiente que se conoce como «fosforilación oxidativa».

¿Cómo te quedas si te digo que tus células también pueden obtener energía como una bacteria? Pues sí, nuestra glucólisis anaeróbica. En nuestras células coexisten ambas tecnologías, tanto la antigua carburación como la moderna inyección. Pueden generar energía sin recurrir a las mitocondrias, pero no en cantidad compatible con una vida saludable. Cuando nuestra célula genera energía en el citoplasma, funciona de manera similar al viejo coche de carburación: necesita más combustible y produce menos energía, pero lo hace de forma más rápida. El precio que se debe pagar es la gran cantidad de residuos metabólicos que genera, que interfieren con su correcto funcionamiento.

Por el contrario, cuando la célula usa las mitocondrias para producir energía, ésta se genera de una forma mucho más eficiente, con menor necesidad de combustible y de una manera mucho más limpia. Pero, para este proceso, necesitan de un elemento clave: que el oxígeno que respiramos llegue a ellas en cantidad suficiente.

Potencia versus eficiencia

De los tres sistemas energéticos que hemos visto, tanto el sistema de fosfágenos, al usar como sustrato la fosfocreatina, como el glucolítico, utilizando la glucosa, tienen lugar en el citoplasma de la célula y no necesitan oxígeno para llevarse a cabo. Son sistemas similares a los de una bacteria anaeróbica y son, por tanto, los que menos cantidad de ATP producen, aunque lo hacen una manera muy rápida. Son el equivalente al motor de carburación: vías citoplasmáticas, anaeróbicas, con poco rendimiento pero muy potentes. Mientras tanto, el sistema oxidativo siempre acontece dentro de la mitocondria y

puede usar como combustible tanto glucosa como grasa.

El sistema oxidativo es el sistema que más ATP produce pero lo hace de una manera más lenta que los anteriores y aquí el oxígeno es indispensable.

Quédate con la idea principal de que **la cantidad de producción de energía es inversamente proporcional a la velocidad de producción**. Cuanto más rápido la obtengan las células, menos cantidad de energía se estará produciendo. Esto supone que la manera más rápida de producir energía es mediante la hidrólisis de la fosfocreatina y la glucosa sin oxígeno, seguida por la glucosa con oxígeno y, por último, la grasa.

En el sistema de fosfágenos y en el glucolítico se sintetizan pocos ATP pero de forma muy rápida. Estas vías se activan ante esfuerzos de intensidad máxima pero de muy corta duración. Además, la vía glucolítica es la que usa el sistema inmunitario para obtener energía cuando está activo en la lucha contra una infección o en un proceso inflamatorio, algo que, como veremos más adelante, es muy relevante.

De todos los sustratos energéticos, la grasa es el que produce más ATP. La combustión de la grasa siempre se produce en la mitocondria y requiere mucho más oxígeno y tiempo que oxidar mitocondrialmente glucosa.

Comprendo que todo esto te pueda resultar un poco lioso, pero creo que lo verás con más claridad retomando nuestro ejemplo en el que vas a montarte en el autobús.

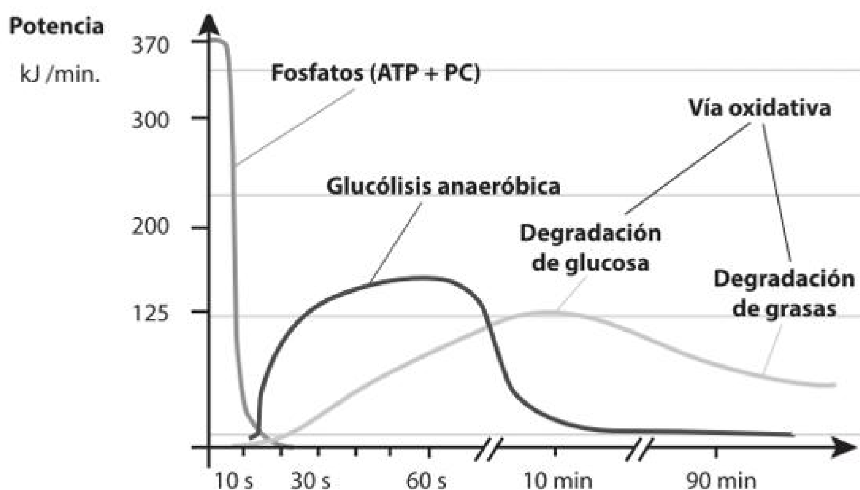
- Imagina que te diriges a la parada del bus caminando tranquilamente. En ese momento, tus mitocondrias estarán tirando de grasa como combustible para producir la energía que mueve tus piernas.
- En un momento dado, miras tu reloj y comprendes que quizá no vas tan bien de tiempo como pensabas, por lo que decides acelerar el paso. En este punto, la grasa aún sirve como combustible.
- A pesar de acelerar, entiendes que realmente vas mal de tiempo y empiezas a correr en busca de ese bus que posiblemente pierdas, por lo que necesitas una potencia que sólo la glucosa te puede dar. Eso sí, aún te vales sólo de tus mitocondrias.
- Ves llegar el bus a la parada y a ti te quedan unos metros para

alcanzarlo, por lo que necesitarás energía de una forma más rápida tirando de glucosa sin oxígeno. A costa de ello producirás un residuo, el ácido láctico.
- Ya estás al lado del bus, pero, mientras notas como te falta el aire, observas que la puerta comienza a cerrarse, por lo que tienes que esprintar a tope para no perderlo. En este último esfuerzo arrancas la maquinaria del sistema de fosfágenos para generar toda la potencia posible.

Este ejemplo, trasladado a una pista de atletismo, nos permite entender la utilidad de cada sistema con respecto al esfuerzo que le pedimos.

- Si quiero hacer un *sprint*, necesitaré energía de una forma muy rápida, por lo que arrancaré con el sistema de fosfágenos.
- Si tengo que alargar unos metros la carrera, tiraré de glucosa sin oxígeno, aun a costa de producir un residuo, el ácido láctico.
- Si voy a correr durante un par de kilómetros, mis células reclutarán las mitocondrias quemando la glucosa usando el oxígeno.
- Pero si quiero correr 10 kilómetros, necesitaré producir energía durante más tiempo. Para ello, las mitocondrias recurrirán a la grasa como combustible.

Ilustración 8. Potencia versus capacidad de los distintos sistemas energéticos



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, tenemos dos sistemas de energía que funcionan sin oxígeno (anaeróbicos) y un sistema que requiere una entrada constante de oxígeno (aeróbico), con niveles muy diferentes de liberación de energía. Los tres pueden estar aportando energía de manera simultánea, pero siempre va a haber uno que predomine sobre los otros en un momento dado. En la siguiente tabla puedes consultar los requerimientos y las consecuencias de cada uno.

			SISTEMAS ENERGÉTICOS [illegible]		
Mitocondria [illegible]					
Sustrato energético [illegible]					
Rendimiento en ATP [illegible]					
Dependencia de O_2 [illegible]					
Media/alta [illegible]					
Capacidad [illegible]					
Muy limitada [illegible]					
CO_2 y H_2O [illegible]			–		
¿En qué actividades se usan predominantemente? [illegible]					

Fuente: Elaboración propia.

Lo ideal sería que los requerimientos de energía de las actividades de nuestra vida diaria estuvieran cubiertos por la actividad de las mitocondrias usando grasa como combustible y que reserváramos la glucosa para cuando necesitáramos un plus de energía rápida mediante su oxidación mitocondrial o ultrarrápida usando la glucólisis anaeróbica.

Desgraciadamente, vemos que a las mitocondrias de una gran parte de la población se les ha olvidado cómo usar la grasa. Por si fuera poco, existe una sobreexpresión de la glucólisis, lo que viene a ser la **inflexibilidad metabólica** que significa menos energía y más desgaste para producirla. En pocas palabras, esto se traduce en una peor salud.

Ahora vamos a profundizar un poco más en los sistemas energéticos para que los comprendas mejor, pero, sobre todo, para darte herramientas prácticas a fin de que saques lo mejor de ellos.

7.2. SISTEMA DE FOSFÁGENOS O ANAERÓBICO ALÁCTICO

Empezaremos con el último sistema que hemos activado de camino a

la parada de autobús, el que nos permite hace ese *sprint* final a toda la velocidad y nos consigue energía de forma rápida. Veamos qué hace nuestro cuerpo para permitirnos cumplir estas tareas exigentes pero muy breves.

Cada célula de nuestro cuerpo, especialmente las musculares, tiene la capacidad de almacenar, además de pequeñas cantidades de ATP, una sustancia muy especial conocida como «fosfocreatina». Se trata de una sustancia compuesta por tres aminoácidos: glicina, metionina y arginina, a los que se les une un grupo fosfato. Es decir: tiene un enlace de alta energía.

Esta sustancia desempeña un papel fundamental en la bioenergética celular, ya que supone la vía más rápida y directa de generar ATP. Cuando los niveles de ADP dentro de la célula son superiores a lo habitual (cuando queda poca moneda energética porque ya se ha hidrolizado para generar energía, ha perdido un grupo fosfato y ha pasado de ATP a ADP), se activa una enzima como la creatina Kinasa (CK) o creatínfosfocinasa (CPK). Ésta rompe la fosfocreatina en fósforo y creatina, liberando la energía que se usará para sintetizar una nueva molécula de ATP.

Evolutivamente, este sistema permitió a nuestros antepasados acelerar o trepar a un árbol para escapar de un depredador y a nosotros ganar un *sprint* o que no se nos escape el autobús.

Este sistema aporta una gran cantidad de ATP de una manera inmediata e intensa pero muy breve, de apenas diez segundos. Cuando pasa ese tiempo, los depósitos se acaban. La fosfocreatina, una vez que se ha roto, puede volver a unirse, pero la energía requerida para ello vendrá necesariamente de la actividad mitocondrial, gracias al metabolismo oxidativo. Por eso, una vez agotada esta oferta exprés de energía, habrá que esperar unos minutos para que se vuelvan a sintetizar.

Cómo mejorar nuestro sistema de fosfágenos

Si nos interesa aumentar las reservas de fosfocreatina en la célula para echar mano de ellas cuando sea necesario, debemos asegurar que se cumplan dos condiciones:

- Estímulo adecuado: ejercicio físico intenso
- Sustancias precursoras: fósforo (muy abundante en el organismo) y creatina (un bien escaso)

El cuerpo es capaz de sintetizar creatina en el hígado, el páncreas y los riñones, especialmente como respuesta al ejercicio físico. La cantidad diaria que producimos es tan pequeña (± 1 g) que el resto

debe aportarse a través de la dieta (o la suplementación). La carne, sobre todo de pollo, y los pescados, entre los que destacan los arenques como el alimento con mayor cantidad de creatina, son las principales fuentes dietéticas. La creatina se almacena principalmente en el músculo (95 por ciento) y el resto se encuentra en el corazón y cerebro.

La edad y la pérdida de masa muscular disminuyen la síntesis endógena de creatina.

Suplementos de creatina

La creatina es quizá el suplemento con mayor evidencia con respecto a su seguridad y eficacia para ganar masa, potencia y fuerza muscular, mejorando con ello el rendimiento del ejercicio de alta intensidad. Pero la creatina es mucho más que un suplemento para atletas; al almacenarse principalmente en el músculo esquelético es una sustancia que ayuda a mejorar la salud y la longevidad de nuestros músculos.

El consumo de creatina a largo plazo ha mostrado ser seguro y eficaz para aumentar la fuerza, la masa muscular y, en general, el rendimiento en personas mayores, especialmente cuando se combina con entrenamiento de fuerza. Existen múltiples artículos de revisión en los que se ponen de manifiesto los beneficios de la suplementación con creatina en enfermedades relacionadas con la edad, al mejorar la salud del corazón, que, al fin y al cabo, es un músculo.

Sin embargo, si hay un gran beneficiado del uso de creatina, ése es nuestro cerebro. Aunque no lo creas, tus neuronas consumen más energía que los músculos y sus mitocondrias funcionan mejor con la suficiente creatina. Aunque la creatina no genere la energía dentro de la mitocondria, porque no necesita oxígeno para convertirse en ATP, mejora el funcionamiento de ésta, la protege contra el daño oxidativo y mejora la entrada de magnesio tanto en la célula como en la mitocondria.

Las neuronas requieren una gran cantidad de energía (ATP), sobre todo, en momentos de mayor demanda metabólica y la creatina ha demostrado ser un sustrato energético neuronal de primer orden. Además, tiene efectos neuroprotectores, antioxidantes, moduladores de la plasticidad neuronal y de mejora de la función mitocondrial neuronal. En estudios de intervención ha demostrado mejorar la memoria a corto y largo plazo, la cognición y la capacidad de razonamiento, además de registrar efectos antidepresivos. Recientemente han surgido nuevas evidencias que sugieren que puede ser importante para prevenir o retrasar la aparición de enfermedades

neurodegenerativas asociadas con el envejecimiento, como la enfermedad de Parkinson, los problemas de memoria a largo plazo asociados con la progresión de la enfermedad de Alzheimer y los accidentes cerebrovasculares.

De una forma rápida, se pueden resumir los beneficios de la creatina con esta lista:

- Energía para los músculos, neuronas y corazón
- Neuroprotección
- Protege las mitocondrias
- Aumenta la masa muscular
- Aumenta la longevidad

La forma de suplemento es el **monohidrato de creatina**, muy versátil, funcional y muy seguro. Lo ideal es que cuente con el sello **Creapure**.

La dosificación es entre 3 y 5 g de monohidrato de creatina diarios. A partir de dos semanas o un mes ya empezamos a encontrar algo de beneficio, pero los más potentes aparecerán a los dos o tres meses. Como la creatina se almacena en los tejidos, podemos hacer ciclados, es decir, alternar dos o tres meses de uso de creatina y, después, uno o dos de descanso. Con estas dosis a lo largo de cuatro a doce semanas, numerosos estudios han demostrado un aumento del contenido de creatina muscular de un 20 a un 40 por ciento y en el contenido de creatina cerebral de un 5 a un 15 por ciento.

Es posible que te estés preguntando si se podría combinar con la ribosa y el magnesio. La respuesta es un sí rotundo. Estas tres sustancias forman un buen cóctel mitocondrial ideal para mejorar los niveles de energía en casos de cansancio o agotamiento y en patologías en las que la falta de energía causa buena parte de la sintomatología, como son la fibromialgia, el síndrome de fatiga crónica o la migraña.

Dosis para el «cóctel mitocondrial»: 10 g de ribosa, 5 g de creatina y 3-5 g de malato de magnesio (que aportan unos 300-500 mg de magnesio elemental y el resto en ácido málico).

7.3. Sistema glucolítico o anaeróbico láctico

Después del sistema de fosfágenos, la glucólisis es la forma más rápida y fácil de conseguir energía para una célula. En nuestro trayecto al autobús, la glucólisis ha sido nuestra aliada justo antes del *sprint*,

cuando hemos tenido que alargar la carrera al acercarnos a la parada y ver que al ritmo al que íbamos todavía nos arriesgábamos a quedarnos en tierra.

El sistema glucolítico nos permite conseguir energía rápidamente porque, en tan sólo diez reacciones enzimáticas, una molécula de glucosa es transformada en dos moléculas de piruvato (una molécula más sencilla) mediante un proceso catabólico que libera la energía suficiente para que la célula pueda sintetizar dos moléculas de ATP. La glucólisis anaeróbica es la vía de producción energética más antigua que existe, idéntica a cómo las células procariotas producen energía. No necesita oxígeno, ni, por lo tanto, mitocondrias para llevarse a cabo. Se produce en el citoplasma (o citosol de la célula), por lo que también podríamos llamarla glucólisis citoplasmática.

En la división de la glucosa a piruvato se rompen átomos de hidrógeno, los más sencillos que existen, liberando sus protones y electrones, que serán captados por la molécula NAD^+ (dos electrones y un hidrógeno cada una). Ésta es una molécula especial que hace de transportador al transformarse en NADH y cuya función es llevar los protones y electrones hasta el «generador nuclear» de la mitocondria.

Después de que la molécula de glucosa se transforme en dos moléculas de piruvato, las condiciones del medio en que se encuentre determinarán el camino que seguir. Existen dos vías metabólicas posibles:

- La glucólisis aeróbica, que veremos más adelante: convertirse en acetil-CoA para continuar entregando energía al organismo en la mitocondria. Cuando esto es posible, el NADH entrará en la mitocondria para ceder sus protones y electrones a la cadena de transporte de electrones mitocondrial, que producirá una gran cantidad de energía.
- La glucólisis anaeróbica a través de la degradación en lactato. Si la vía aeróbica no es posible porque la célula necesita energía rápida, o ante situaciones de disfunción mitocondrial, ni las dos moléculas de ácido pirúvico ni las dos de NADH pueden entrar en la mitocondria para seguir entregando energía. Esta vía, por tanto, termina aquí, sin necesidad de oxígeno, con la síntesis de ácido lactato formado a partir del piruvato.

Nosotros nos vamos a centrar en esta segunda vía, la anaeróbica. Puesto que la cantidad de NAD^+ que poseen las células es limitada, debe existir algún mecanismo que permita transformar el NADH de nuevo en NAD^+ para que pueda ser reutilizado en la glucólisis. De lo

contrario, la célula colapsaría.

Será entonces cuando entre en acción la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) que le carga al piruvato parte de los hidrógenos que no pueden llevar los NAD+, convirtiéndolo en lactato y liberando en el citoplasma dos hidrogeniones (H+). Esta etapa adicional, cuyo único objeto es generar lactato, recibe el nombre de **«fermentación láctica»**. Por eso, la glucólisis anaeróbica se conoce también como «vía fermentativa».

Lo que debe quedarnos claro en todo este proceso es que, para conseguirnos esta energía rápida, **nuestro organismo rompe átomos de hidrógeno que, acabado el proceso energético, debe recolocar en algún sitio**. Ya sabes, aquí nada se crea ni se destruye, todo forma parte de un reciclaje circular. Para ello actúa la enzima LDH que, a través de la fermentación láctica, cierra el círculo dejando dos remanentes: lactato e hidrogeniones.

Acidosis metabólica

Estos subproductos de la glucólisis anaeróbica pueden llevar a la célula a un estado de acidosis que colapsa la vía glucolítica. Si se mantiene en el tiempo, puede afectar incluso al correcto funcionamiento celular. De ahí que, aunque este sistema bioenergético nos permita realizar actividad intensa (aunque menos que con el sistema de fosfágenos), sólo es posible mantenerlo a pleno rendimiento durante unos pocos minutos.

La enzima LDH es una enzima citoplasmática de la familia oxidorreductasa que, como hemos visto, participa en el metabolismo anaeróbico. En éste, hemos necesitado que la molécula NAD+ se transforme en NADH, pero, como todo es un círculo, también necesitaremos que vuelva a su origen. Ésa es la función de esta enzima, que convierte el piruvato en lactato con la reducción de NADH a NAD+.

Unos niveles elevados de esta enzima nos indican que en alguna parte del cuerpo existe una prevalencia del metabolismo anaeróbico sobre el mitocondrial. Por eso, podemos usarla como marcador de una posible disfunción mitocondrial en órganos como el hígado, el corazón y el músculo. Ante una elevación de la LDH, tenemos que pensar en una posible disfunción hepática, enfermedad cardiovascular, daño en los tejidos (principalmente músculo), anemia (que priva de oxígeno a las células), inflamación, infección o hipotiroidismo.

Los valores de referencia de lactato deshidrogenasa oscilan entre 100-240 U/L, si bien una elevación por encima de 200 U/L nos indica signos de disfunción mitocondrial incipiente. Es importante recordar que el metabolismo de las células cancerígenas es casi exclusivamente glucolítico, por lo que una elevación muy elevada de la LDH nos tiene

que poner en alerta de un posible tumor.

Antes de profundizar en la acidosis metabólica, necesitas comprender en qué consiste el concepto de pH. Seguro que te suena; probablemente has oído hablar de la importancia del pH del jabón con el que nos lavamos, pero es posible que no sepas en qué consiste el pH ni la importancia para nuestra salud de mantenerlo en equilibrio.

El término «pH» es la abreviatura de «potencial de hidrógeno» y es fundamental para el bienestar.

El pH hace referencia a la medida de la concentración de iones de hidrógeno ($H+$) que hay en la disolución acuosa: a mayor concentración de iones de hidrógeno, decimos que la disolución tiende a ser más ácida. Al contrario, cuanto menos $H+$ observamos en la disolución, hablamos de un pH más básico o alcalino. El pH se mide en una escala que va de 0 a 14. Cuanto más ácida es una disolución, menor es su valor de pH. Por el contrario, cuanto más alcalina, mayor será el pH. Un pH de 7 se considera neutro; significa que es tan ácido como alcalino.

El nivel de pH es de gran relevancia para el funcionamiento de un organismo, ya que dentro de cada una de nuestras células existe un diminuto mar interior llamado «citoplasma», en el que se dan todas las reacciones bioquímicas necesarias para la vida. Para que estas reacciones se produzcan de una manera adecuada, el ambiente interior de la célula debe ser ligeramente alcalino, oscilando entre 7,35 y 7,45. Este valor es el ideal para el pH de la sangre y la mayoría de los tejidos corporales.

Pero, como ya sabes, somos un organismo muy complejo en el que coexisten una infinidad de diferentes disoluciones acuosas cargadas de iones (electrolitos). **Cada órgano y cada fluido corporal necesita un pH óptimo característico para funcionar de una manera correcta.** Por este motivo, no existe un pH único para todo el organismo. Por ejemplo, el estómago debe tener un pH mucho más ácido, alrededor de 2, para poder descomponer los alimentos adecuadamente. La saliva y la orina tienden también hacia la acidez, entre 6,4 y 6,8 en un individuo sano.

El pH es la medida del nivel de acidez o alcalinidad de los fluidos y los tejidos corporales.

Si el medioambiente celular se acidifica, las enzimas, responsables de activar las reacciones químicas de las que depende nuestra vida, dejan de funcionar de una manera adecuada. Éste es un estado sumamente pernicioso para nuestra salud, ya que la función de cada célula, tejido y órgano se ve significativamente afectada. El riesgo de desarrollar diferentes procesos patológicos como procesos inflamatorios, autoinmunes, degenerativos y tumorales se incrementa si esto ocurre.

¿Qué síntomas provocan una caída del pH en los tejidos?

Cuando el pH de los tejidos se vuelve ácido, los receptores encargados de medir la acidez, llamados «ASIC», se activan mandando al cerebro una señal de peligro y éste responde induciendo dolor y fatiga como medida de choque para bajar el nivel de revoluciones a las que están funcionando los tejidos afectados por acidosis. Cuando tu cuerpo dice «basta» en un *sprint* y notas cansancio y dolor, esto es exactamente lo que está pasando en tu organismo.

Es lo que ocurre cuando practicamos un ejercicio tan intenso que activa de una manera muy potente la glucólisis citoplasmática, que libera de forma masiva hidrogeniones. Esto, habitual a nivel muscular durante el ejercicio físico, puede suceder de forma patológica en reposo cuando existe una disfunción mitocondrial que hace que la glucólisis se tenga que sobreexpresar. En estos casos, el $H+$ se acumula, además de en la musculatura, en otras estructuras como el corazón, el hígado, un riñón, el intestino o hasta el propio cerebro. El resultado es el mismo: activación de ASIC generando dolor y fatiga, ya que, de lo contrario, estos tejidos corren el riesgo de sufrir daños.

Además del cansancio y el dolor generalizado, los signos y síntomas comunes de un estado de acidosis crónica en los tejidos incluyen:

- Latidos cardiacos acelerados (taquicardia) y respiración rápida en un intento de hacer llegar más oxígeno a los tejidos afectados de acidosis.
- Dolor de cabeza, confusión y sensación de mareo.
- Dolor y calambres musculares.
- Disminución de la actividad del sistema inmunitario.
- Descalcificación del hueso y calcificación de los vasos sanguíneos. Como el calcio tiene la capacidad de amortiguar la acidez, ante una bajada en el pH, el organismo libera calcio del hueso al torrente sanguíneo.

¿Cómo podemos medir el pH?

La forma más precisa sería hacerlo en sangre. Pero, aunque el pH de la orina no ofrece la medida directa del pH de la sangre, puede ayudarnos como un método indirecto que nos brinda información sobre nuestro equilibrio ácido-base. El pH de la orina puede variar ligeramente en función de la hora del día. De ahí la importancia de la hora y el método de medida.

- La muestra debe ser de **la segunda orina de la mañana (en ayunas)**, para evitar valores ácidos propios del metabolismo de regeneración que se produce durante el descanso nocturno.
- Se hace usando unas tiras reactivas **medidoras de pH**. **Lo ideal es que ofrezcan un margen** específico posible de la orina, **entre 4 y 8** (las tiras con rangos de 1 a 14 son muy poco precisas).

¿Es el lactato el culpable de la acidosis?

Durante muchos años, se pensó que el lactato era sólo un producto de desecho como resultado del metabolismo anaeróbico cuya acumulación en los tejidos, dado su carácter ácido, era la causa de la acidosis metabólica. Incluso se afirmaba que cristalizaba después del ejercicio, provocando el característico dolor muscular de las agujetas.

Gracias al trabajo del doctor George Brooks, experto en metabolismo de la Universidad de California, en Berkeley, que estudió el lactato durante más de cuarenta años, y de su discípulo el doctor Íñigo San Millán, profesor e investigador en fisiología del ejercicio en la Escuela de Medicina de la Universidad de Colorado, hoy sabemos que esto no es así.

Brooks demostró que en situación de reposo o durante un ejercicio físico liviano se genera una glucólisis lenta en la que el ácido pirúvico y los iones de hidrógeno ($H+$) resultantes se envían a la mitocondria para ser procesados y obtener ATP con ellos. En cambio, cuando la intensidad de la actividad física se eleva aumentando la necesidad de energía, la velocidad de la glucólisis crece. Es aquí cuando entra en juego la lactato deshidrogenasa, como ya vimos, sintetizando lactato a partir del piruvato para no agotar los $NAD+$. En este caso, los $H+$ que estaban libres tampoco pueden ingresar en la mitocondria y quedan libres en el citoplasma de la célula, acidificando su pH.

La liberación de iones de hidrógeno ($H+$) asociados con el lactato, y no el lactato por sí solo, es la principal responsable de la reducción importante del pH, que

resulta en acidosis.

Gracias al trabajo de Brooks, sabemos que el lactato no es un producto de desecho metabólico. De hecho, es el precursor gluconeogénico (nuevo generador de glucosa) más importante del organismo. Alrededor del 30 por ciento de toda la glucosa que usamos durante el ejercicio proviene del reciclaje de lactato a glucosa.

Reciclaje de lactato

Aunque el lactato no sea el responsable de la acidosis metabólica, si se quedara acumulado en la célula, podría dañarla, de ahí que tengamos mecanismos para reciclarlo. Cuanto mejor es el nivel físico y de entrenamiento de una persona, menor acumulación de lactato en sangre se observa durante el ejercicio de alta intensidad. Esto se debe a una mayor capacidad de depuración de lactato.

Tenemos dos vías para reciclar el lactato:

- Dentro de la propia célula, haciéndolo ingresar en la mitocondria para convertirlo directamente en ATP a través de lo que se conoce como «complejo de oxidación de lactato mitocondrial» (mLOC), que requiere oxígeno.
- Mediante el ciclo de Cori, el proceso de exportación de lactato desde las células de casi todos los órganos del cuerpo (especialmente el músculo) hasta la sangre para su transporte al hígado, donde se convertirá de nuevo en glucosa que servirá de nutriente para las células.

El umbral de lactato de nuestro organismo es la capacidad para reciclar el lactato con ambas vías. Una vez sobrepasado este umbral, la suma del lactato acumulado en la célula y los iones de hidrógeno nos conducirían al aumento de acidosis metabólica.

Como vemos, una elevada funcionalidad de nuestras mitocondrias es necesaria para dar salida al lactato. Esto es lo que ocurre en los deportistas entrenados, que acumulan menos lactato en sangre durante la práctica deportiva, al contrario que una persona no entrenada o enferma.

Lo creas o no, otro gran reciclador de lactato es el cerebro, ya que las neuronas lo utilizan como alimento. Algunos estudios muestran que, cuando se suprime la absorción de lactato por las neuronas, empeora la memoria y la función cognitiva.

Lactato: no tan malo como nos lo pintan

Recuerda que el problema no es la producción de lactato durante el ejercicio intenso, sino que lo pernicioso para nuestra salud es generar lactato en reposo. Cuando el músculo no está en contracción, las mitocondrias no son capaces de usarlo como sustrato energético. Las proteínas de transporte MCT (monocarboxiladas) encargadas de sacar el lactato de la célula, así como las enzimas del ciclo de Cori, se encuentra desactivadas, por lo que es muy fácil que el lactato se acumule en la célula.

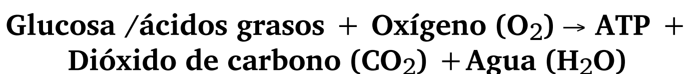
La causa principal de que se acumulen H+ en los tejidos que originen acidosis metabólica, sin estar practicando un ejercicio extenuante, se halla en la disfunción mitocondrial.

Antes de abandonar el sistema glucolítico o anaeróbico láctico, repasemos lo principal.

- ¿Para qué nos sirve este sistema bioenergético? Para producir energía rápida, para tareas exigentes pero breves.
- ¿Es preocupante la producción de lactato? No, es una parte fundamental del sistema glucolítico mientras ocurra durante el ejercicio intenso.
- ¿Quién produce el exceso de lactato e iones de hidrógeno? La glucólisis anaeróbica en reposo.
- ¿Por qué se produce la glucólisis anaeróbica en reposo? Por un fallo del sistema aeróbico.
- ¿Cuál es la solución? Mejorar la salud de nuestras mitocondrias.
- ¿Qué consecuencias tiene un exceso de lactato por disfunción mitocondrial? Es el principal causante de la disminución del pH del organismo.

7.4. Sistema oxidativo o aeróbico

El último sistema energético que vamos a conocer es el sistema oxidativo o aeróbico, la forma más lenta de obtener ATP. Es el que hemos usado en la mayor parte de nuestro camino hacia la parada de autobús, porque produce energía en mayor cantidad y durante más tiempo. Para activarlo debemos hacer uso de nuestras mitocondrias, que, como ya sabes, requieren oxígeno para funcionar y, junto al ATP, generan dióxido de carbono (CO_2) y agua.



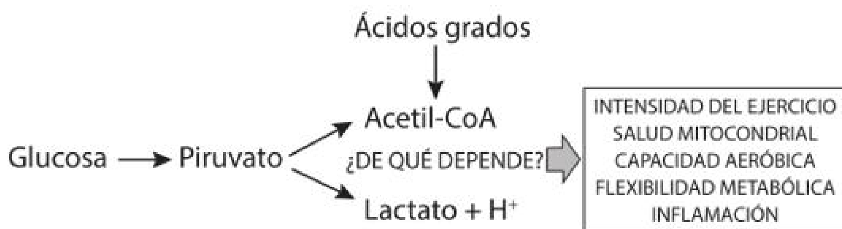
En el sistema oxidativo podemos usar como combustible tanto glucosa como grasa. Ambos deben convertirse en la molécula energética que inicia el metabolismo mitocondrial, la acetil coenzima A (acetil-CoA) y lo harán mediante la glucólisis y la posterior conversión al piruvato en el caso de la glucosa o mediante la beta oxidación en el caso de las grasas.

En condiciones de reposo, los ácidos grasos y los carbohidratos deben transportarse con éxito a las mitocondrias y convertirse en acetil-CoA. Dentro de ellas pasarán por dos rutas metabólicas: primero, por la conocida como «ciclo de Krebs» (ciclo del ácido tricarboxílico (TCA) y, posteriormente, por la fosforilación oxidativa (OXPHOS), sintetizando con ello grandes cantidades ATP.

Para que el piruvato y los ácidos grasos se transformen en acetil-CoA, que es el compuesto que va a entrar en la mitocondria para ser oxidado, es necesario que la persona tenga una buena capacidad mitocondrial y aeróbica. En otras palabras, debe tener mitocondrias suficientes y funcionales y debe ser capaz de llevar el oxígeno en cantidades convenientes hasta las mitocondrias. De otro modo, sería como tener la maquinaria puesta a punto pero no recibir los materiales o, al revés, disponer de los materiales pero no poder usarlos por tener una fábrica de energía en malas condiciones.

También es importante que se puedan abastecer las cantidades de ATP necesarias en el momento preciso. La demanda de ATP es muy rápida ante una gran actividad muscular, pero también en una gran activación del sistema inmunitario, por ejemplo, en la lucha contra una infección o ante un estado inflamatorio crónico. En esas situaciones, nuestro organismo tirará de la vía glucolítica aun a expensas de generar residuos.

Ilustración 9. Los dos caminos posibles del piruvato



Fuente: Elaboración propia.

Recuerda que, dependiendo del combustible que usemos, glucosa o grasa, pondremos en marcha una vía u otra para obtener acetil-CoA:

- Glucosa: Glucólisis oxidativa
- Grasas: Beta oxidación

Glucólisis oxidativa

Como ya vimos, el rendimiento energético de la glucólisis anaeróbica no es muy elevado. La glucosa contiene en sus enlaces mucha más energía que la que representan sólo dos moléculas de ATP. La mayor permanece en los enlaces del piruvato y en el NADH y sólo puede ser extraída si sendos compuestos consiguen entrar en la mitocondria incorporándose a una serie de reacciones químicas conocidas como respiración celular, en las que el oxígeno es indispensable. Para ello, todo el entorno metabólico y fisiológico debe funcionar.

Ayudado por el oxígeno, cada piruvato proveniente de la glucólisis viajará a la matriz mitocondrial, el compartimento más interno de la mitocondria. Gracias a la acción de la enzima **piruvato deshidrogenasa (PDH)**, se convertirá en una molécula de dos carbonos unida a coenzima A, conocida como acetil-CoA. Habremos conseguido nuestra molécula energética.

En este proceso se libera dióxido de carbono y H+, que son captados por NAD+ convirtiéndose en NADH, que luego pasará por la cadena de transporte de electrones, que los usará para sintetizar ATP. **La enzima PDH necesita de cofactores como NAD+ y magnesio**, además de tiamina (vitamina B_1) para poder funcionar. Ante un déficit de estos factores, esta reacción se paraliza.

Beta oxidación

Si nuestro combustible son grasas, en lugar de glucosa, se activará el proceso de beta oxidación (β-oxidación). Éste se encarga de desestructurar progresivamente las largas cadenas de carbonos de los ácidos grasos y convertirlas en moléculas más pequeñas de acetil-CoA que sí pueden ser usadas por la mitocondria como fuente de energía.

La beta oxidación de los ácidos grasos consta de cuatro reacciones recurrentes que ocurren en la matriz mitocondrial. Para ello, antes deben atravesar la membrana mitocondrial interna gracias a un proceso conocido como «activación». Éste se lleva a cabo en la membrana mitocondrial externa, donde el ácido graso se une a una molécula de acil coenzima A gracias a la acción de la enzima acetil-CoA sintetasa.

Entrada a la matriz mitocondrial

Una vez el ácido graso es activado, la membrana mitocondrial interna

le permite el acceso a la matriz. Para ello, necesita un transportador: la famosa **carnitina**, que produce nuestro cuerpo, sintetiza a partir de la lisina y la metionina. También se encuentra en los alimentos, principalmente, en la carne y pescado.

Su uso como suplemento «quemagrasas» se ha popularizado y extendido en los últimos años, aunque, desgraciadamente, la evidencia nos dice que no funciona bien para este propósito. Como suplemento, sí parece optimizar la función mitocondrial, además de resultar una gran protectora de la mitocondria contra el estrés oxidativo, sobre todo en su forma acetilada conocida como **acetil L-carnitina**.

La acetil L-carnitina (ALCAR) es, por tanto, la formulación más efectiva como suplemento, ya que es la que más fácilmente puede penetrar en la mitocondria, sobre todo en las mitocondrias cerebrales. Según los estudios, la acetil L-carnitina no sólo las protege, sino que estimula la formación de nuevas mitocondrias, lo que la convierte en un activador mitocondrial antienvejecimiento que ayuda a que el cerebro funcione mejor, optimizando con ello el estado de ánimo, la concentración, el aprendizaje y la memoria.

La dosis estándar del suplemento acetil L-carnitina es de 500 a 2.000 mg.

Proceso de reacciones de la beta oxidación

Una vez dentro de la matriz mitocondrial, el ácido graso es sometido a la beta oxidación, un ciclo de cuatro reacciones recurrentes en las que va perdiendo de forma sucesiva un par de átomos de carbono que a su vez se unen a una molécula de coenzima A para formar sucesivas moléculas de acetil-CoA, hasta que el ácido graso se descompone por completo.

Los ácidos grasos están formados por cadenas de átomos de carbono y pueden ser de cadena corta (entre 4 y 6 átomos de carbono), de cadena media (tienen entre 8 y 12 átomos de carbono) y de cadena larga (entre 14 y 33 carbonos). Como resultado de la beta oxidación, estas cadenas de carbonos se rompen en unidades de dos carbonos en forma de acetil-CoA.

En cada rotura se produce, además, una molécula de FADH2 (otro transportador o *carrier*) y una molécula de NADH, que pueden ingresar en la cadena respiratoria.

Aunque suene a formulación compleja, esta reacción es matemática pura. Vamos a verlo con un ejemplo: el ácido palmítico, presente en la carne, los productos lácteos y otros muchos ingredientes de nuestra dieta. Éste es un ácido graso saturado de cadena larga, concretamente, cuenta con 16 carbonos.

- Primera rotura. Pierde 2 átomos de carbono, quedan 14. Obtenemos una molécula de FADH2 y una molécula de NADH.
- Segunda rotura. Pierde 2 átomos de carbono, quedan 12. Obtenemos una molécula de FADH2 y una molécula de NADH.
- Tercera rotura. Pierde 2 átomos de carbono, quedan 10. Obtenemos una molécula de FADH2 y una molécula de NADH.
- Cuando llegamos a la séptima rotura, el ácido pierde 2 átomos de carbono y sólo nos quedan otros dos, por lo que no podemos continuar. De esta rotura, obtenemos de nuevo una molécula de FADH2 y otra de NADH, lo que nos da un total de 7 de cada.

En resumen, al dividir completamente una molécula de ácido palmítico, ácido graso saturado de 16 carbonos, el ciclo de la β-oxidación se tiene que repetir siete veces obteniendo, 8 moléculas de acetil-CoA, 7 FADH2 y 7 NADH.

Gracias a la beta oxidación, ya tenemos partidas las largas cadenas de los ácidos grasos en pequeños trocitos más pequeños. Para completar el ciclo energético ideal, ahora pasarán por dos rutas metabólicas: en primer lugar, por la conocida como «ciclo de Krebs» (ciclo del ácido tricarboxílico, TCA) y, posteriormente, la fosforilación oxidativa (OXPHOS), sintetizando con ello grandes cantidades ATP.

Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs, también conocido como el **«ciclo del ácido cítrico»** o **«ciclo de los ácidos tricarboxílicos»**, es el destino metabólico de la acetil-CoA. Es una ruta metabólica en la que se dan una sucesión de reacciones químicas cíclicas, alimentadas por la constante entrada de moléculas de acetil-CoA, que giran en una rueda de reacciones químicas, como si se tratara de un molino de agua. Éste las convierte en otras moléculas diferentes a la vez que se sintetiza algo de ATP y se desprende el CO_2 que expulsas en cada exhalación.

El objetivo principal aquí es seguir rompiendo átomos de hidrógeno para cargar a los NAD+ y los FAD+ (otro tipo de *carrier*) con electrones e iones de hidrógeno (H+). De esta forma, los convertirán en NADH y FADH2, que viajarán hasta las crestas de la mitocondria, donde los entregarán a los complejos mitocondriales de la cadena de transporte de electrones de la fosforilación oxidativa. Tranquilo, ya llegaremos a ello.

Esta serie de reacciones no sólo tienen un fin energético. Las moléculas intermedias producidas pueden utilizarse a su vez como bloques de construcción en procesos tan importantes como la síntesis de ácidos grasos, las hormonas esteroideas, los aminoácidos para la construcción de proteínas o las moléculas utilizadas en la síntesis del

ADN.

Fosforilación oxidativa

Todo el largo camino del metabolismo aeróbico culmina con la fosforilación oxidativa, la joya de la corona en cuanto a producción de energía se refiere.

Se calcula que hasta el 90 por ciento de la energía celular en forma de ATP es producida por la fosforilación oxidativa.

La fosforilación oxidativa comienza con la cadena respiratoria o de transporte de electrones. Viajemos hasta las crestas mitocondriales, esos recovecos que hemos visto en el capítulo 2 al explicar la estructura de la mitocondria. ¿Recuerdas que decíamos que una buena mitocondria debía tener muchas crestas mitocondriales? Ahora entenderás por qué.

Dentro de las mitocondrias existen una serie de proteínas incrustadas en su membrana interna que se conocen como «complejos mitocondriales» (del I al V). Los electrones en el interior de la mitocondria generan un flujo al saltar de un complejo a otro, produciendo con su movimiento una gran energía que, además, bombeará protones a través de la membrana interna mitocondrial.

- **Complejo I**: complejo NADH deshidrogenasa
- **Complejo II**: succinato-ubiquinona oxidorreductasa
- **Complejo III**: complejo del citocromo b-c
- **Complejo IV**: citocromo c oxidasa
- **Complejo V**: ATP sintasa

En las crestas mitocondriales, los complejos mitocondriales se ensamblan formando **supercomplejos** que optimizan el transporte de electrones y el transporte de protones a través de la membrana mitocondrial interna. Para que nos entendamos, los electrones saltan tan rápido de un complejo a otro que generan energía cinética con mucha intensidad, como si estuvieran dentro de una batidora. La carga energética es tanta que hasta los protones que se encontraban en el interior de la mitocondria se liberan y se escapan de sus posiciones estáticas. Como un huracán en el que el aire se mueve de forma tan potente que arrastra todo lo que pilla a su alrededor, nuestros electrones van tan acelerados que arrastran con ellos a los protones.

Este proceso se nutre con los NADH y FADH2 cargados de electrones y protones (H+) en los procesos catabólicos anteriores como la **glucólisis, el ciclo de Krebs y la beta oxidación**. Los NADH y los FADH2 depositarán sus electrones en esta cadena respiratoria o «de transporte de electrones», liberando también los protones que quedarán en la matriz.

Para que los electrones salten de un complejo a otro necesitan unas proteínas de transporte. Así, los electrones del complejo I y II son acarreados hasta el complejo III por una proteína llamada **«ubiquinona»**. Dicho así quizá no te suene, pero es muy posible que la hayas oído nombrar por su segundo nombre: «coenzima Q10». Del movimiento de los electrones por el complejo III hasta el IV se hace cargo otra proteína de gran importancia para la mitocondria, llamada citocromo C.

El viaje de los electrones concluye con su llegada al complejo IV, donde se encontrarán con el aceptor final, el oxígeno (O_2) proveniente del aire que respiramos, que aceptará los electrones. Para visualizarlo, imagina una carrera de electrones que van saltando de complejo en complejo y no pueden parar por sí mismos. Necesitan a alguien que se plante frente a ellos y detenga su movimiento, los abrace y los acepte dentro de sí y eso es lo que hace el oxígeno.

El oxígeno, que respiramos a través de los pulmones y que es repartido a cada célula de nuestro cuerpo gracias al aparato circulatorio (por la sangre), es esencial para el funcionamiento de la cadena de transporte de electrones. Si el oxígeno no puede llegar a la mitocondria para recibir electrones, la cadena se detendrá y la ATP sintasa no sintetizará más ATP. Esto ocurre porque, si no hay nadie capaz de detener a los electrones una vez que se pongan en marcha en esa cadena de saltos de cresta a cresta, la mitocondria no se atreve a encenderse. Es como un mecanismo de seguridad, como el de una atracción de feria que no se activa si sabe que el freno no funciona bien. De ahí la importancia de tener un corazón y unos pulmones saludables que nutran con el oxígeno necesario a nuestras mitocondrias.

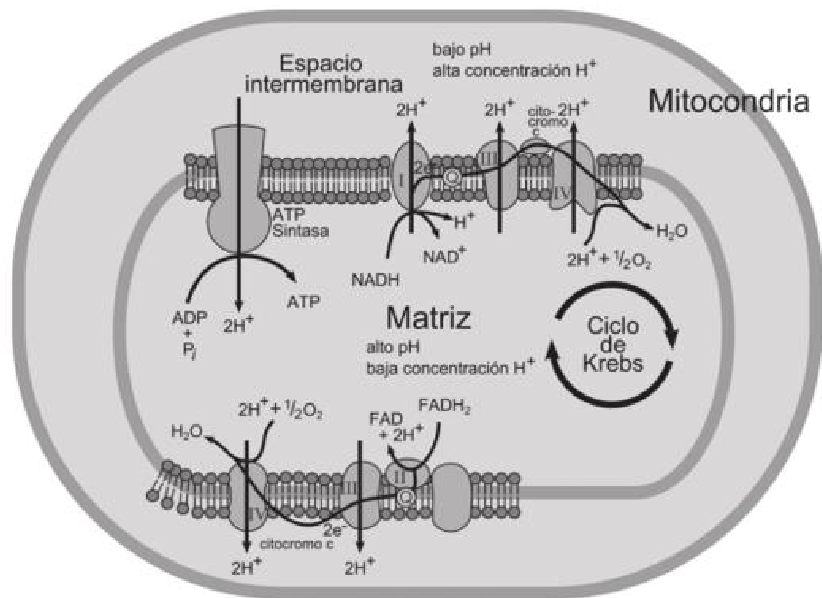
Sin embargo, el cuerpo humano no es un robot a prueba de errores. Es en este momento, cuando el oxígeno acepta los electrones, cuando se producen pequeños fallos. Además de agua, se generan moléculas muy inestables que se conocen como «especies reactivas de oxígeno» o «radicales libres». Las hemos nombrado antes como los «residuos radiactivos» de nuestras centrales energéticas. El radical superóxido (O2-2) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) forman parte de esta familia de errores. Las especies reactivas de oxígeno deben ser neutralizadas por los famosos antioxidantes, ya que de lo contrario pueden provocar daño celular y contribuir a enfermedades y al

envejecimiento.

Pero volvamos a nuestro proceso. La energía cinética que crean los electrones antes de ser detenidos por el oxígeno ha liberado esos protones hasta ahora inmóviles en la matriz. Este bombeo masivo de protones hace que se acumulen en grandes cantidades en el espacio transmembrana. Recuerda que los polos del mismo signo se repelen y, como los protones están cargados eléctricamente con signo positivo (H^+), cuando se agolpan todos en el pequeño espacio formado entre las dos membranas mitocondriales empiezan a repelerse unos a otros. Se genera lo que se conoce como **«gradiente electroquímico»**, en el que los protones tienden a migrar de donde hay más a donde hay menos. Pero en ese espacio transmembrana en que han acabado apelotonados su única vía de escape es el complejo V. Allí se encuentra la proteína transmembrana conocida como **«ATP sintasa»**, que es una estructura conceptualmente muy parecida a las puertas giratorias de los hoteles. O, lo que es lo mismo, a una turbina de una planta de energía hidroeléctrica que se pone en movimiento cuando todos los protones deciden cruzarla para salir del espacio en el que estaban.

La entrada de nuevo de los protones a gran velocidad a través de la membrana es conocida como **«fuerza protón-motriz»**. Este término explica a la perfección lo que conlleva: el flujo de regreso de los protones hacia la matriz a través de esa puerta giratoria que es el complejo V generará una gran cantidad de fuerza, que hará girar a toda velocidad (400 revoluciones por segundo) al nanomolino que es **la enzima ATP sintasa**, produciendo la energía necesaria para sintetizar **ATP**.

Ilustración 10. Cadena de transporte de electrones mitocondrial



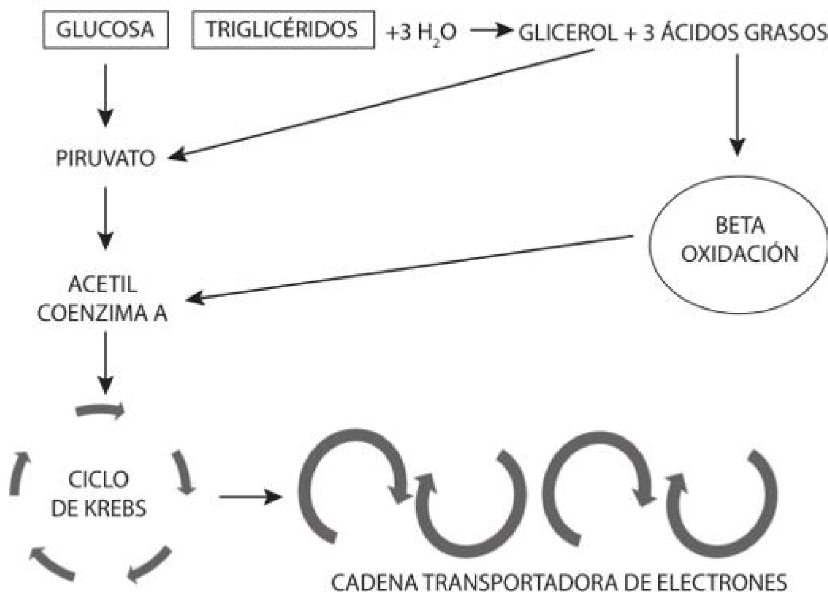
Fuente: Rozzychan.

En resumen, la cadena respiratoria es lo más parecido que existe en la naturaleza a un acelerador de partículas, en el que los electrones en movimiento generan una gran cantidad de energía que se utiliza para bombear protones, que a su vez cargan la «turbina» del complejo V y permiten la síntesis de ATP. Si quisiéramos separar sus fases, usaríamos este listado:

1. Transferencia de electrones y bombeo de protones
2. Separación de oxígeno molecular para formar agua
3. Formación de un gradiente de protones que genera la fuerza protón-motriz
4. Síntesis de ATP en la ATP sintasa impulsada por la fuerza protón-motriz

Aquí puedes repasar de un simple vistazo este proceso que acabamos de explicar. Aunque cada paso sea un fiel reflejo de la complejidad que puede alcanzar el ser humano, el proceso cobra su verdadero sentido cuando se entiende en su totalidad.

Ilustración 11. El sistema oxidativo anaeróbico, de un vistazo



Fuente: Elaboración propia.

Proteínas desacopladoras

La fosforilación oxidativa es el resultado de dos fases acopladas, la cadena transportadora de electrones y la ATP sintasa, que tienen como función la síntesis de ATP. Hasta aquí lo tenemos claro. Pero ¿qué ocurriría si las dos fases se desacoplaran? Si la energía generada en el gradiente de protones no se utilizara para sintetizar ATP, se liberaría en forma de calor. Esto, que podría parecer un desperdicio, resulta ser una estrategia vital cuando necesitamos mantenernos calientes. Las responsables de este fenómeno son las proteínas desacopladoras o UCP.

Las UCP (*uncoupling proteins*) son una familia de proteínas que se encuentran incrustadas entre los complejos de la cadena transportadora de electrones. Funcionan como canales que permiten, ante determinadas situaciones, que los protones reingresen en la matriz mitocondrial desde el espacio intermembranal, sin atravesar la ATP sintasa, por lo que no se genera energía en forma de ATP. Cuando este ocurre, la energía del gradiente se disipa como calor o, lo que es lo mismo, luz infrarroja. Sí, lo has leído bien. En las mitocondrias se produce luz infrarroja que calienta a la célula. Gracias a los infrarrojos que se generan en su interior, las mitocondrias están a unos 50 oC y funcionan como un sistema de calefacción que mantiene nuestros cuerpos a una media de 36,5 oC.

Rendimiento de las grasas versus hidratos de carbono en la fosforilación oxidativa

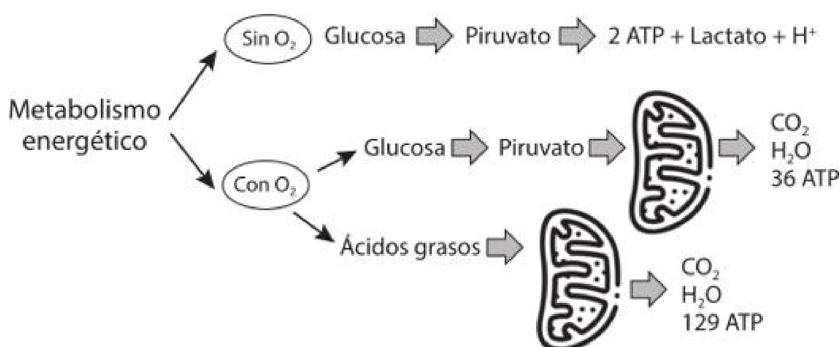
Antes de cerrar este capítulo, veamos unos últimos datos. Como sabemos, en una situación ideal, tanto las grasas como los hidratos de carbono pasarán por el ciclo de Krebs y acabarán en la fosforilación oxidativa, el proceso que produce la mayor cantidad de energía de todos. Llegados a ese punto, grasas e hidratos no actúan igual.

Las grasas son capaces de aportar más ATP que una molécula de glucosa. Por ejemplo, una molécula de glucosa aporta aproximadamente 36 ATP cuando es degradada por vía oxidativa. En el caso de los ácidos grasos, cuanto más larga es la molécula, más ATP se genera. Por ejemplo, una molécula de ácido palmítico (representando a las grasas) es capaz de producir 129 ATP.

Como vemos, el rendimiento de los ácidos grasos es mucho mayor que el de la glucosa, a pesar de ser más lento y dependiente de oxígeno. Los ácidos grasos necesitan hasta cuatro veces más cantidad de oxígeno que los hidratos de carbono para producir la misma cantidad de ATP.

Las grasas, a diferencia de los hidratos de carbono, no pueden ser oxidadas en el citoplasma de la célula, sólo en la mitocondria. Por ello, la combustión de las grasas es cien por cien dependiente de la mitocondria y, por lo tanto, de oxígeno.

Ilustración 12. Metabolismo energético



Fuente: Elaboración propia.

8

El flujo energético y la tiroides

En los capítulos anteriores hemos seguido a las mitocondrias en su trabajo como fábricas energéticas de nuestro cuerpo. El viaje no acaba aquí: ahora nos toca ver en qué invertimos la energía producida y cuál es el mecanismo que regula su función. Conozcamos el flujo energético y la glándula tiroides.

8.1. El concepto de flujo energético

En esencia, invertimos la energía en tres grandes apartados:

- El metabolismo basal
- La termogénesis
- El movimiento

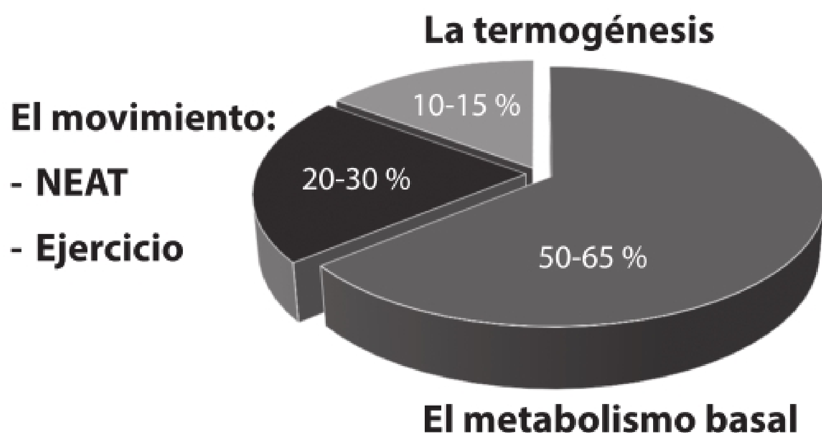
El **metabolismo basal** es la cantidad de energía que nuestro cuerpo necesita para realizar todas sus funciones básicas en un estado de reposo absoluto. Son tareas como el funcionamiento cerebral, la respiración, el bombeo del corazón, la producción de hormonas...

La **termogénesis** es el proceso de generación o disipación de calor por parte de nuestro cuerpo para mantener la temperatura corporal estable dentro del rango entre 36,2 y 37,5 oC. Como resulta evidente, cuanto más nos expongamos a retos térmicos, como bañarnos en el mar en invierno, darnos una ducha de agua fría o tomar un baño de sauna, más activaremos a nuestras mitocondrias para que produzcan energía destinada a la regulación de la temperatura de nuestro cuerpo.

El **movimiento** incluye tanto el ejercicio físico planificado como lo que se conoce como «NEAT» o *Non-Exercise Activity Thermogenesis*, que abarca todo el movimiento necesario para llevar cabo las actividades diarias como caminar, subir y bajar escaleras, teclear en el ordenador, limpiar nuestro hogar...

Una vida activa es sinónimo de unas mitocondrias activas y saludables. No nos cansamos de repetir que el ejercicio es la mejor medicina para tus mitocondrias, pero de nada sirve entrenar duro cada día durante una hora si nos pasamos el resto del día inmóviles. Nuestras mitocondrias necesitan activarse varias veces a lo largo del día, cada poco tiempo necesitan una dosis de *ejercitina*, que puede ser desde caminar más hasta los *snacks* de movimiento de los que hablaremos más adelante.

Ilustración 13. Reparto de la energía entre los tres gastos principales del organismo



Fuente: Elaboración propia.

El gasto energético, lejos de ser algo inmutable, fluctúa al alza o a la baja en función de la energía disponible y de la demanda de dicha energía. Más que un valor, es un flujo que podemos *hackear* fácilmente para mejorar nuestras vidas.

8.2. Tiroides: la gestora de la energía

¿Qué es la tiroides?

Antes de contarte qué es la tiroides, me gustaría aclararte lo que no es. Puede que las próximas líneas te resulten muy evidentes, pero créeme, lo que te voy a contar es algo con lo que me he encontrado muchas veces en mis años como terapeuta. He perdido la cuenta del número de personas que me dicen algo así como: «Antonio, me han detectado tiroides. Estoy muy preocupada». Vamos a aclarar estas dos afirmaciones.

Lo primero: la tiroides no es una enfermedad, es una parte de nuestro cuerpo que todas las personas tenemos. El problema no sería que te detectasen la tiroides, ¡sino que no lo hicieran! Es la glándula endocrina más grande del organismo, pesa de 15 a 20 g y tiene forma de mariposa. Se ubica en la zona anterior del cuello, entre la laringe y la tráquea, y su función es la de la regular el metabolismo mediante la producción, el almacenamiento y la liberación de las hormonas

tiroideas: tiroxina (T4) y triyodotironina (T3).

El mal funcionamiento de la glándula tiroides es el estado patológico y eso sí que se puede detectar en una revisión médica. Pero tampoco tenemos que preocuparnos por ello, más bien **ocuparnos**, ya que hay un montón de cosas efectivas y a nuestro alcance para optimizar su función.

Cuando nuestra tiroides funciona a un ritmo menor del necesario para mantener nuestro metabolismo, por lo que tenemos facilidad para ganar peso, nos sentimos cansados o siempre tenemos frío, se dice que tenemos **hipotiroidismo**. Por el contrario, hablamos de **hipertiroidismo**, cuando la tiroides se pasa de revoluciones y eleva nuestro metabolismo por encima de lo necesario. En este caso, es muy probable que nos sintamos muy agitados, con palpitaciones, con poca tolerancia al calor y que perdamos peso con mucha facilidad. El hipotiroidismo es muy mucho más prevalente que el hipertiroidismo y justo por eso va a ser en el que nos vamos a centrar en este capítulo.

8.3. Cómo funciona la tiroides y su relación con las mitocondrias

¿Cuál es la relación entre la tiroides y las mitocondrias?

La glándula tiroides se encarga de comunicar a las mitocondrias nuestra demanda energética en cada momento. Para ello utiliza unas formidables mensajeras, las hormonas tiroideas, que son las que animan a las mitocondrias a producir energía, por ejemplo, cuando hace frío (para aumentar nuestra temperatura) o hacemos ejercicio físico (para mover nuestros músculos).

Por ello, la hipofunción de la tiroides conlleva la hipofunción de nuestras mitocondrias: si no llegan bien los mensajes, las mitocondrias no se enteran del nivel al que tienen que trabajar. Si queremos sacarle el máximo partido a nuestras centrales energéticas, tenemos que optimizar la función tiroidea.

Eje hipotálamo-hipófisis-tiroides-mitocondria

La síntesis de las hormonas tiroideas está regulada por el eje hormonal formado por tres elementos: el hipotálamo, la hipófisis y la glándula tiroides. La tiroides responde a los mensajes del hipotálamo y la hipófisis para interactuar con las mitocondrias.

El hipotálamo es una pequeña zona del cerebro de no más de 4 g de peso, pero de tremenda importancia para nuestra fisiología al ejercer como el termómetro del cuerpo. En esencia, se encarga de percatar variaciones tanto del medio externo (ciclo noche y día, frío, calor, peligro...) como interno (hambre, sed, cansancio...), midiendo constantemente los niveles de hormonas, nutrientes y

neurotransmisores. Mediante la acción de la hipófisis, su fiel escudera, ordena una respuesta del organismo en caso de ser necesaria para mantener la homeostasis.

Regresemos a nuestro ejemplo del autobús, ahora desde el punto de vista del eje tiroideo. Ante una variación del medio que nos demande energía, en este caso, esa carrera de última hora que hemos tenido que dar porque se nos escapa el bus, el hipotálamo capta las señales y decide avisar al resto del cuerpo de lo que ocurre. Para ello, envía un mensajero químico llamado hormona liberadora de tirotropina (TRH) que va a la hipófisis. La hipófisis responderá enviando la hormona estimulante de la tiroides (TSH) a la tiroides. La TSH activa la síntesis y la secreción de las hormonas tiroideas, que viajarán por la sangre hasta las mitocondrias de la grasa parda para producir calor o a las de nuestros músculos de las piernas para que produzcan la energía necesaria para salir pitando y que no tengamos que esperar en la parada al siguiente bus. En un brevísimo instante, en nuestro cuerpo se ha sucedido una cadena de mensajes desde el hipotálamo hasta cada mitocondria que debía recibir la información.

Esquema del eje tiroideo



Una vez que las hormonas han llegado a los tejidos y ejercen su función, el hipotálamo detecta que ya se ha solventado la necesidad energética, disminuyendo la secreción de TRH y TSH. De esta manera, el eje tiroideo queda regulado hasta una nueva situación de elevación de la demanda metabólica.

Cuando el hipotálamo detecta que la tiroides no trabaja tanto como debería hacerlo porque no hay suficientes hormonas tiroideas, aumenta la producción de TSH por encima de los valores normales, que es lo que vemos cuando hay hipotiroidismo. En cambio, si detecta que la tiroides trabaja demasiado, disminuirá la producción de TSH para frenarla, como cuando hay hipertiroidismo.

¿Cómo se forman las hormonas tiroideas?

Dentro de la glándula tiroides hay unas células llamadas **«tirocitos»**, cuya función es la de captar yodo y tirosina (un aminoácido) y armar con estas materias primas las hormonas tiroideas. Para ello recurren a la acción de una enzima llamada **«tiroperoxidasa»**, conocida también como **«TPO»**. Esta enzima combina la tirosina con el yodo para crear

dos tipos de hormonas:

- La tetrayodotironina o tiroxina (T4), en mayor cantidad. Se forma a partir del aminoácido L-tirosina y cuatro átomos de yodo.
- La triyodotironina (T3). Cuenta en su estructura con sólo tres átomos de yodo.

Una vez formadas, estas hormonas se almacenan en la tiroides hasta que sea necesaria su liberación a la sangre. Como hemos visto, esto pasará cuando, ante una demanda energética, se ponga en marcha la cadena de comunicación que comienza en el hipotálamo y que aumentará la liberación de TSH por parte de la hipófisis y, a su vez, la liberación de la T4 y T3 a la sangre.

De las dos hormonas tiroideas, la T3 es la versión activadora del metabolismo, por lo que la T4 necesita perder un átomo de yodo para transformarse en T3 y poder ser efectiva. Esta conversión se consigue gracias a la acción de las **deiodinasas**, unas enzimas que dependen del selenio. Por eso, este mineral es tan importante en personas con hipotiroidismo, ya que asegura una buena conversión de T4 a T3.

La conversión periférica de la T4 a la T3 se hace o directamente en la célula o en unas estaciones periféricas de conversión, que son, principalmente, el hígado (un 60 por ciento) y el intestino (un 20 por ciento). Si estos dos órganos no están sanos, es muy posible que no logremos generar suficiente hormona activa.

Una vez tenemos suficiente hormona activa (T3), ésta tiene que cumplir con su función. Para poder activar el metabolismo celular, necesita poder unirse al receptor que hay en cada célula.

8.4. El hipotiroidismo

En qué consiste el hipotiroidismo

Es una de las afectaciones más frecuentes de la glándula tiroides y se caracteriza por una hipofunción de las hormonas tiroideas, que es lo mismo que decir que trabajan por debajo de lo normal. Cuando, por diversos motivos, estas hormonas son incapaces de activar el metabolismo aeróbico, empujan al organismo a tirar en exceso de la glucólisis anaeróbica y a reducir al máximo el flujo energético entrando en un «modo ahorro». En éste, el cuerpo quema menos energía como mecanismo de supervivencia y se caracteriza por:

- Almacenar toda la grasa que puede.
- No permitir el movimiento (conducta pasiva y depresiva).
- Deshacerse del músculo, que es caro de mantener (requiere mucha energía).
- Se reducirá la producción de hormonas sexuales, como la testosterona, sin la cual es imposible desarrollar músculo, además de tener toda otra serie de efectos negativos. En el caso de las mujeres, la falta de estrógenos (la hormona sexual femenina), aparte de reducir el deseo sexual, puede provocar problemas en la menstruación o directamente detenerla.

La sintomatología del modo ahorro se verá conformada por un cuadro polisintomático. Mientras al cuerpo le ocurre lo que acabamos de leer, nosotros lo sentimos con situaciones como éstas.

Porque el cuerpo quiere almacenar toda la energía y no gastar nada:

- Letargo, mala concentración y memoria
- Depresión
- Aumento de peso (acompañado de aumento de colesterol y triglicéridos) Porque se reduce la termogénesis:
- Aumento a la sensibilidad al frío
- Extremidades frías
- Disminución de la temperatura corporal basal por debajo de 36,2 oC

Porque ahorramos energía al prescindir de órganos no vitales:

- Piel seca
- Pérdida de cabello
- Estreñimiento
- Uñas débiles
- Disminución de la libido
- Dolores inexplicables de cabeza, musculares y articulares
- Alteraciones del riñón
- Retención de fluidos, porque también se ahorrará toda el agua posible

Muchos de estos síntomas, como el cansancio o la disminución de la temperatura basal, son fiel reflejo del impacto de la tiroides en las mitocondrias. Este cuadro clínico puede darse por tres factores diferentes pero interrelacionados:

- La **disminución de las hormonas tiroideas por una afectación de la glándula tiroides** (por ejemplo, una inflamación) o por una carencia de los nutrientes necesarios para producir la hormona. También podría ocurrir por una falta de estímulos activadores tiroideos a nivel hipotalámico, como una excesiva protección contra el frío o el sedentarismo.
- Una **mala conversión de T4 libre en T3 en los tejidos periféricos**. Como hemos dicho antes, el 60 por ciento de la conversión de T4 a T3 se produce en el hígado y otro 20 por ciento en el intestino. Un mal funcionamiento de estos órganos tendrá un efecto negativo sobre la producción suficiente de T3. Además, factores como la inflamación o una deficiencia de selenio pueden dificultar la conversión.
- La **resistencia a la acción de las hormonas tiroideas**. En este caso, el problema en sí no está en la tiroides, sino en los receptores de los tejidos donde deben actuar las hormonas. Las hormonas llegan hasta las mitocondrias, pero no son capaces de activarlas porque no pueden hacer el clic en su receptor. La resistencia del receptor puede venir, otra vez, de la inflamación y de deficiencias nutricionales, por ejemplo, de omega 3 y vitamina A.

¿Qué factores producen hipotiroidismo?

Ya tenemos claro que nuestra tiroides es la gestora del flujo energético de nuestro cuerpo a través de la producción de sus hormonas, la T4 y la T3. Pero ¿por qué llega a funcionar menos de lo que debería y da lugar al hipotiroidismo? ¿Será que es una perezosa a la que no le gusta trabajar?

Como te puedes imaginar, la culpa no es de la pobre tiroides. Los motivos se encuentran una vez más en una vida moderna en la que el sedentarismo, la calefacción y el exceso de confort privan a la tiroides de estímulos que la activen, mientras que, por otro lado, su ritmo frenético la inunda en estrés y le roba el descanso. Por si fuera poco, la contaminación, los tóxicos y la comida basura agravan el problema y la inflaman.

La alteración del sistema inmunitario como respuesta a la vida moderna genera un estado inflamatorio crónico que es, quizá, el factor que más daña a la tiroides. De hecho, **el 90 por ciento de los casos de hipotiroidismo** en los países industrializados son de causa **autoinmune**. Es el conocido como tiroiditis de Hashimoto, en el que un sistema inmunitario dislocado ataca a la tiroides y le genera una tremenda inflamación que le impide funcionar de manera adecuada.

De un breve vistazo, los principales factores que inhiben la función de la tiroides son:

- Inflamación crónica
- La falta de frío
- El sedentarismo
- El ayuno prolongado
- La falta de calorías
- Una alimentación de mala calidad
- La falta de sueño
- Tóxicos ambientales
- Tóxicos emocionales como el estrés crónico
- El alcohol y el tabaco

Veamos en detalle algunos de ellos.

Sedentarismo

Una vida activa físicamente es el principal estímulo de activación del flujo energético de nuestras reservas a las mitocondrias de la musculatura. Sin movimiento, el flujo se corta, por lo que el funcionamiento de la tiroides deja de tener sentido al no haber mitocondrias que activar.

Ayuno prolongado y falta de calorías

Sabemos que los ayunos largos no parecen jugar muy a favor de la tiroides, por lo menos en personas que ya presentan problemas con la glándula. A una persona con hipotiroidismo no le recomendaría de entrada comer sólo una vez al día, de manera muy copiosa, lo que llamamos «patrón de alimentación OMAD» (*one meal a day*). Eso no quiere decir que un ayuno nocturno no sea aconsejable, al contrario: **dejar al menos 12 horas desde la cena hasta el desayuno** es una herramienta muy beneficiosa para la tiroides. Entre otras cosas, le sirve como estímulo activador.

Sin embargo, hay que tener cuidado con reducir la ingesta. *Grosso modo*, una persona necesita unas 2.000 calorías al día en el caso del hombre y unas 1.700 en el caso de la mujer. Una forma muy rápida de ralentizar el metabolismo es bajar de estas cifras de forma drástica y mantenida en el tiempo. Para perder peso, hay que generar cierto déficit calórico, sí, pero no debería ser muy restrictivo (no más de un 15 a un 20 por ciento) y quizá no sea lo primero que deberíamos hacer. Mejorar la calidad de nuestra dieta, aumentar la actividad física, mejorar la calidad del sueño y regular el estrés de nuestras vidas son alternativas más importantes. Cuando la única vía en la que pensamos es reducir calorías, nos pasamos la vida a dieta, sobreviviendo con 1.200 calorías bajas en grasa y, en consecuencia, arruinando por completo nuestro flujo energético. Al disminuir

radicalmente la entrada de energía, nuestro organismo se pondrá en modo ahorro, adaptando su funcionamiento a las poquitas calorías que entran. La calidad del pelo, la piel y las uñas, partes no vitales del cuerpo, se empiezan a resentir y llega ese cansancio que nos impide levantarnos del sofá.

Dieta de mala calidad

Es relativamente frecuente que se culpe del hipotiroidismo a los **compuestos bociógenos** de determinados alimentos, como la soja y crucíferas como la col, la coliflor, el brócoli, el kale, las coles de Bruselas, el repollo... Aunque, efectivamente, las sustancias bociogénicas tienen la capacidad de bloquear la absorción y la utilización del yodo por parte de la tiroides, la capacidad bociogénica de estos alimentos es muy limitada y, en el caso de las crucíferas, es incluso nula una vez cocinadas. La soja y sus derivados, como la bebida de soja, el yogur o el tofu, parecen ser problemáticos sólo ante un elevado consumo y en personas que ya presentan problemas con la tiroides. Por el contrario, productos fermentados a base de soja como el miso, el tamari y el tempeh, lejos de ser problemáticos, resultan positivos dado su aporte de principios activos y bacterias beneficiosas.

Otro de los posibles culpables alimenticios del hipotiroidismo que suena con fuerza es el **gluten**. En este caso, los estudios sí parecen coincidir. En el hipotiroidismo autoinmune o de Hashimoto, la capacidad que tiene esta proteína presente en el trigo, la cebada y el centeno de activar la respuesta autoinmune puede agravar los problemas con la tiroides. Además, los alimentos que lo contienen, como la pasta, el pan, los cereales de desayuno y las harinas no son la mejor elección para cuidar de nuestra tiroides porque son fuente de hidratos de carbono refinados. Son extremadamente ricos en moléculas de glucosa y pobres en el resto de nutrientes, a lo que se suma el azúcar añadido en los ultraprocesados. En pocas palabras: son un veneno que disminuye los niveles de T3 y T4 y aumenta la TSH.

Otro factor que impacta negativamente en la tiroides son las grasas poliinsaturadas de mala calidad, presentes en los aceites vegetales industriales (maíz, soja, girasol...). Dado su bajo precio, la industria alimentaria los usa con alegría en la elaboración de ultraprocesados que inundan las estanterías de los supermercados.

Estrés

El estrés crónico es uno de los factores que más puede desestabilizar y perjudicar la función de la glándula tiroidea. Si buscamos un culpable recurrente en el hipotiroidismo, no nos equivocaríamos señalando hacia él.

Recuerda que el estrés es percibido por nuestro organismo como

un peligro vital. Ante un estrés agudo, nuestro cuerpo activará el eje tiroideo para aumentar la producción de energía y poder enfrentar el peligro peleando o huyendo. Por el contrario, cuando el estrés se mantiene de forma cronificada, interpreta que no podemos vencer al enemigo, por lo que la elevación constante de cortisol sanguíneo impacta de forma directa sobre la función de la glándula tiroides y lleva a nuestro cuerpo al modo ahorro que nos permita sobrevivir y resistir a ese peligro tan importante que no logramos solventar.

El estrés crónico impactará en los tres niveles del eje tiroideo:

- Inhibe la producción de hormonas.
- Reduce la conversión de T4 a T3.
- Causa resistencia a la hormona en los receptores periféricos.

Tóxicos y xenobióticos

Ni el tabaco ni el alcohol son amigos de nuestra tiroides, ya que su consumo se asocia con modificaciones en los valores de la TSH, T4 y T3 libres.

Sustancias como los metales pesados, disolventes como los PCBS y dioxinas, plásticos como el BPA (bisfenol A), los ftalatos y los PBDE, los pesticidas y el triclosán son considerados por la ciencia agentes obesógenos, ya que tienen la capacidad de alterar nuestro sistema hormonal y, por lo tanto, nuestra tiroides, lo que, como consecuencia última, arruinará nuestro metabolismo. Además, sustancias como el fluoruro (pasta de dientes) y el (per)clorato bloquean la captación de yodo por parte de la tiroides.

Cómo saber si tienes hipotiroidismo

Muchas veces, los síntomas del hipotiroidismo pasan desapercibidos. Es muy importante que escuches a tu cuerpo y, en caso de tener algunos síntomas de mala función de la tiroides, te ocupes de ella.

Algo que nos da mucha información del estado de la tiroides es la temperatura corporal. Medirla de una forma adecuada es una gran herramienta de diagnóstico. Una manera muy fiable y sencilla de hacerlo es la **prueba de temperatura del doctor Broda Barnes**, un médico y profesor de medicina estadounidense que estudió la disfunción endocrina y, en particular, el hipotiroidismo. En la década de 1970, Barnes publicó varios libros sobre el infradiagnóstico del hipotiroidismo y su impacto en la salud. Para seguir su técnica, debemos:

- Medir la temperatura axilar por la mañana, antes de salir de la cama.
- Medir la temperatura durante un mes y hacer la media.

Si el resultado de esa media está entre 36,2 y 36,7 oC, se considera que entra en los valores normales. Si el resultado está por debajo de 36,2 oC, puede considerarse un indicador de hipotiroidismo.

En una analítica sanguínea también podrías ver los valores de TSH, T4 y T3 de tu organismo, indicadores de la salud de tu sistema tiroideo. Algo importante que no te he contado es que las hormonas tiroideas viajan en sangre unidas a una proteína llamada TBG (*Thyroid-Binding Globulin*) y, para que puedan ejercer su función, necesitan liberarse convirtiéndose en T4 libre (T4L) y T3 libre (T3L).

Esto es importante ya que **en la mayoría de las analíticas sanguíneas sólo se mira la TSH y la T4**, por lo que no estamos comprobando si la persona tiene suficiente hormona a disposición de las mitocondrias. Es muy común encontrarnos con una TSH y una T4 correcta por las que nos digan que estamos bien y, sin embargo, encontrarnos fatal por no tener la cantidad de T3 libre adecuada (recuerda que la T3 es la versión activa de la T4). Salvando las distancias, sería como tener a una persona hambrienta junto a un saco de legumbres, pero sin la capacidad de convertir esos garbanzos duros en un guiso cocido que le pueda dar energía.

Por esta razón, es fundamental que en las analíticas se miren tanto los valores de TSH como la T4 libre y, sobre todo, la T3L. Todos los valores deben estar dentro de un rango óptimo y no sólo normal, ya que aspiramos a un funcionamiento óptimo de tu cuerpo, no normal.

Por ejemplo, los valores analíticos de referencia para la TSH son de 0,5 a 4,7, pero estos valores son demasiado burdos y sólo atienden a un funcionamiento aceptable de la glándula y no a su función óptima. Los valores óptimos de TSH son más acotados: deben estar entre 1 y 3 µUI/L. Si son más altos, ya estaríamos hablando de un hipotiroidismo subclínico, donde la glándula tiroides empieza a dar muestras de agotamiento.

En el siguiente cuadro comparto los valores de referencia e ideales para las hormonas T4 y T3, tanto totales como libres, además de los anticuerpos anti-TPO y anticuerpos anti-TGB (presentes en Hashimoto).

	MARCADOR VALOR DE REFERENCIA VALOR IDEAL	

TSH 0,5-3,0 mUI/L				
T4 total 4,8-12,7 µg/dl				
T4 libre 0,7-1,9 ng/dl				
T3 total 60-180 ng/dl				
T3 libre 2,3-4,2 pg/ml (activa)				
Anti-TPO Negativo < 35 UI/ml 2UI/ml				
Anti-TG Negativo < 35 UI/ml 2UI/ml				

Fuente: Elaboración propia.

8.5. Cómo mejorar la función de tu tiroides

La mejora de la función de la tiroides es todo un reto. La solución pasa, en parte, por realizar acciones en nuestra vida que requieren de energía, pero, si de algo se caracteriza el hipotiroidismo, es de la falta de ésta. Así que el primer paso para mejorar la función tiroidea pasa por la vía negativa: minimizar todo aquello que está fastidiándola, como la inflamación de tu organismo, el estrés crónico, la falta de sueño, los tóxicos o los ultraprocesados y demás alimentos de mala calidad.

Recuerda que el magnesio, la ribosa y la creatina forman un cóctel energético que te ayudará a lidiar con ese cansancio que no te permite empezar.

El segundo paso es ganar flexibilidad metabólica espaciando comidas, con ayunos intermitentes y priorizando las grasas saludables. La estrategia para optimizar tu tiroides también pasará por que te expongas a estímulos que la activen como el ejercicio físico de intensidad y la exposición al frío. Para ello, claro, tendrás que haber ganado un poquito de energía gracias al paso inicial.

Es posible que te estés preguntando cómo demonios vas a conseguir todo lo anterior. Tranquilo, no te agobies. Todo esto lo vamos a ir desarrollando a lo largo del libro. Cuando lo termines, tendrás un montón de estrategias para conseguirlo. Pero ahora me gustaría darte un par de pinceladas en lo referente al ejercicio, al frío y a la dieta que puede ayudarte a mejorar tu tiroides.

Ejercicio físico

«Antonio, ¿qué ejercicio me recomiendas para quemar más calorías?» Ésta es una de las preguntas que más a menudo me hacen mis pacientes. Sin embargo, ver el ejercicio como un arma

«quemacalorías» no es lo más acertado, ya que la función principal del ejercicio es optimizar el metabolismo.

El foco en la práctica deportiva debería estar en **producir una activación de nuestras mitocondrias y, por lo tanto, del metabolismo (y de la tiroides)** y no **en cuántas calorías quema**. Como dice Javier Butragueño, «entrena para la vida, no para el espejo».

Tanto el ejercicio de fuerza (anaeróbico) como el aeróbico son importantes. Por un lado, los ejercicios de fuerza nos ayudan a aumentar la masa muscular, un tejido metabólicamente muy activo que nos puede ayudar a mejorar el metabolismo basal. Por otro, el ejercicio aeróbico también es interesante por su capacidad de activar las mitocondrias. Tampoco podemos olvidarnos de la capacidad para elevar el metabolismo de los entrenamientos de alta intensidad. Lo veremos todo con detenimiento en el capítulo 14, dedicado a aprender a mover nuestras mitocondrias.

Además, el ejercicio es esencial para controlar el estrés crónico, porque genera una vía de escape a todo el cortisol acumulado en la sangre. No hay nada mejor para quitarle peso a tu cabeza que mover pesos con tu cuerpo.

El frío: el gran activador de la tiroides

Una de las funciones esenciales de la glándula tiroides es activar nuestras mitocondrias para producir calor. Es muy común que las personas que padecemos hipotiroidismo, como es mi caso, tengamos dificultades para producir suficiente calor en nuestro cuerpo. Si tienes hipotiroidismo, seguro que te resulta muy familiar esa sensación de frío interno que no se quita casi con nada. Siempre suelo comentar que, en los peores momentos de mi hipotiroidismo, mi aversión al frío era de tal nivel que no era capaz de bañarme en pleno agosto en la playa. La buena noticia es que la tiroides es como un músculo: si la entrenas y le das los nutrientes adecuados, la fortaleces.

«Aquello a lo que temes no es nunca tan terrible como lo imaginas. El temor que dejas crecer en tu mente es mucho peor que la situación real», dijo el psicólogo Spencer Johnson, y podríamos aplicárnoslo si nos toca exponernos al temido frío. Ésta es una de las mejores formas de favorecer la conversión de la hormona tiroidea inactiva (T4) a hormona tiroidea activa (T3), además de ser un potente activador de nuestras mitocondrias al facilitar su capacidad para utilizar la grasa como combustible. ¿Quieres saber cómo? Te lo cuento cuando hablemos de la grasa parda.

Alimentación en cantidad y de calidad

Como ya hemos visto, hablamos demasiado de calorías y muy poco de

alimentos y esto es un gran error. Antes de obsesionarnos con recortar calorías, deberíamos enfocarnos en mejorar la calidad de nuestra dieta, apostando por alimentos de alta densidad nutricional, asegurando una ingesta adecuada de proteína y eligiendo grasas de calidad como el aceite de oliva, el aguacate, el pescado o los frutos secos.

Recuerda que hay unos nutrientes clave que debes aportar para que la tiroides funcione a toda máquina:

- Yodo
- Selenio
- Zinc
- Hierro
- Vitamina A
- L-tirosina
- Omega 3

Yodo

El yodo es esencial para poder formar las hormonas tiroideas. Por eso es necesario asegurarse unos buenos niveles a partir de la alimentación.

Los alimentos ricos en yodo son las algas, el pescado azul y el marisco. En mucha menor cantidad también podemos encontrarlo en huevos y los lácteos.

Importante: Si padeces una tiroiditis autoinmune como la tiroiditis de Hashimoto, no te recomiendo ni las algas ni que te suplementes con yodo sin la supervisión de un profesional de la salud, porque los niveles de anticuerpos antitiroideos podrían empeorar.

Selenio

La tiroides es el órgano con el mayor contenido de selenio en todo el cuerpo. El selenio es esencial para la función de la enzima tiroperoxidasa (TPO), pero también para las diodinasas, por lo que, ante una deficiencia de selenio, la conversión de T4 a T3 se verá afectada. Tendremos nuestro saco de garbanzos, pero no conseguiremos convertirlos en comestibles.

El selenio es un mineral que, en niveles adecuados, apoya la síntesis eficiente de hormonas tiroideas y protege la glándula del estrés oxidativo y la inflamación. Resulta imprescindible para reducir los efectos del hipotiroidismo autoinmune y, en pacientes con enfermedad de Hashimoto, su suplementación disminuye los niveles de anticuerpos antitiroideos y mejora la salud de la tiroides.

Las nueces de Brasil, el marisco, las vísceras de animales de ganadería ecológica, los huevos, el pescado y, en menor cantidad, el

pavo, los champiñones y las setas shiitake son alimentos ricos en selenio.

Para asegurar un buen aporte, especialmente si tienes hipotiroidismo, es importante tomar dos o tres nueces de Brasil al día. Sin embargo, la cantidad de selenio puede variar mucho de una a otra, por lo que hay que tener cuidado y no pasarse, ya que el exceso de este mineral tampoco es recomendable.

Zinc

El zinc desempeña un papel necesario en la función de la enzima deiodinasa, necesaria para convertir T4 en T3. También es necesario para activar los receptores de la hormona tiroidea en las mitocondrias, es decir, para que la hormona tiroidea pueda cumplir su función.

La carencia de zinc se puede reconocer por la fragilidad del cabello y las uñas, así como por una excesiva sequedad de la piel. Los suplementos de zinc ayudan a frenar estos síntomas claros del hipotiroidismo. De hecho, los estudios relacionan la deficiencia de zinc con la disminución de la función de la tiroides y unos niveles bajos de T3.

Los alimentos como la carne, el marisco, el pescado y, en menor medida, las semillas de calabaza, las almendras, los anacardos, las setas y el cacao son buenas fuentes de zinc.

Hierro

La deficiencia de hierro reduce la actividad de la enzima TPO y, con ello, la capacidad para producir hormonas tiroideas.

Alimentos ricos en hierro son las carnes rojas y las vísceras de animales de crianza ecológica, el pescado azul y el marisco (berberechos y mejillones son muy ricos en hierro). El hierro también está presente en menor cantidad en vegetales como las espinacas, las acelgas, los pistachos, las almendras, las semillas de sésamo y la calabaza. En los alimentos de origen vegetal podemos hacer más biodisponible el hierro si lo mezclamos con alimentos ricos en vitamina C.

Vitamina A

La vitamina A (retinol) es uno de los elementos necesarios, junto con el zinc y las grasas omega 3, para mejorar el efecto que causa la T3 en los receptores.

Los alimentos ricos en vitamina A son el hígado de bacalao y su aceite, el hígado de animales de ganadería ecológica, los pescados como la caballa, el arenque, el bacalao o el salmón salvaje y los quesos curados. También hay un amplio grupo de vegetales ricos en betacarotenos, unos pigmentos vegetales de color anaranjado

precursores de la vitamina A. La zanahoria, la calabaza, el boniato, el mango, el melón cantalupo, el tomate, los albaricoques, el brócoli, el kale, las espinacas, los pimientos rojo y amarillo y la papaya aportan betacaroteno, aunque, en este caso, dependemos de que nuestro cuerpo convierta el betacaroteno en vitamina A y, con relativa frecuencia, esta conversión no se produce de manera adecuada.

L-tirosina

El aminoácido tirosina (o L-tirosina) es, junto al yodo, vital para formar las hormonas tiroideas. Sin tirosina suficiente, no podemos armar las hormonas T4 y T3. Aunque es cierto que la tirosina no es un aminoácido esencial, porque el cuerpo puede sintetizarlo, en casos de hipotiroidismo es posible que sea necesario un aporte extra para aumentar la producción de hormonas tiroideas.

La tirosina no sólo es la materia prima para sintetizar las hormonas tiroideas, sino que también lo es para las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) y la dopamina. Por ello, es sinónimo de activación mitocondrial, suma más facilidad para usar la grasa como combustible y da un extra de motivación.

Podemos encontrar L-tirosina en alimentos de origen animal como la carne y los huevos, pero, sobre todo, en el pescado.

Omega 3

Por último, pero no menos importante, estarían las grasas omega 3 EPA y DHA, que gracias a su función antiinflamatoria son indispensables para una tiroides saludable, más si cabe porque contribuyen a mejorar la sensibilidad del receptor de las hormonas tiroideas.

Ambas están presentes sobre todo en el pescado azul y el marisco.

Otros

Además de los nutrientes mencionados, hay otros que también colaboran en la mejora de la función tiroidea, como es el caso de las vitaminas del grupo B (B_2, B_3, B_6 y B_{12}), la vitamina C, la vitamina E, la vitamina D y el magnesio. De ahí, la gran importancia de una alimentación de calidad para salvaguardar la salud tiroidea.

Quizá te hayas dado cuenta de que el pescado es rico en los nutrientes básicos para la tiroides, es decir, en yodo, zinc, selenio, tirosina, omega 3 y vitaminas del grupo B. Si tu tiroides no funciona correctamente, deberías comer pescado al menos un par de veces por semana. Las conservas de calidad también te servirán.

Mi caso personal

Para terminar con la tiroides, me gustaría comentarte mis decisiones en cuanto a la suplementación. Aun a riesgo de ser pesado, te recuerdo que tengo hipotiroidismo de Hashimoto.

En primer lugar, dado que el selenio es el gran protector de la tiroides, prefiero asegurar la dosis y tomar un suplemento diario de **200 µg de selenio** en forma de seleniometionina y dejar las nueces de Brasil para un consumo esporádico cuando me apetecen.

Los días que entreno en ayunas, que suelen ser tres o cuatro a la semana, tomo un suplemento de **L-Tirosina de 1 gramo**. Como todos los suplementos legales, su efecto de mejora en el rendimiento deportivo es moderado, pero funciona, sobre todo, si tu tiroides no va del todo bien.

Además, los días que no como pescado ni tampoco hígado de bacalao, que es una de mis fuentes de vitamina A (suelo tomarlo en conserva), tomo un suplemento de **1 gramo de omega 3** (EPA Y DHA) de calidad.

Recuerda que, en un primer momento del trabajo con una tiroides cansada, tendremos que ir poco a poco y de forma progresiva. Recuperar el flujo energético requiere paciencia, trabajo y, sobre todo, (auto)cariño y (auto)comprensión.

Tercera parte

LA DISFUNCIÓN MITOCONDRIAL: CUANDO NUESTRAS CENTRALES ENERGÉTICAS SE APAGAN Y CÓMO ACTIVARLAS

9

El qué y el porqué de la disfunción mitocondrial

Las mitocondrias son las centrales energéticas de las células. Durante las páginas anteriores hemos descubierto que nuestra salud no es compatible con unas mitocondrias enfermas, porque la salud depende de la energía y las mitocondrias son el motor de nuestro metabolismo. Cuando el motor se gripa, lo que conocemos como «disfunción mitocondrial», nuestra salud y nuestro bienestar se resienten. Los órganos metabólicamente más activos (los que más energía necesitan), como el cerebro, el corazón, la musculatura o el hígado, son los que más sufren.

9.1. Qué entendemos por disfunción mitocondrial

Hoy en día no existe una definición académica del término, pero sí una idea muy clara de en qué consiste. Por «disfunción mitocondrial» nos referimos a toda condición que disminuye la capacidad de nuestras mitocondrias de contribuir a la producción de energía en forma de ATP. Cualquier alteración de la función mitocondrial normal podría llamarse «disfunción mitocondrial»: menor número de mitocondrias, mitocondrias que funcionan peor o situaciones no saludables en las que los mecanismos de fusión, fisión, mitofagia y biogénesis mitocondrial se ven afectados. Se pueden dar casos más graves, como una enfermedad mitocondrial genética, y otros más leves, como dejar de ser activos físicamente durante un período de tiempo.

En cualquier caso, cuando leas o escuches **«disfunción mitocondrial»,** quédate con que es sinónimo de unas mitocondrias menos eficientes que producen menos ATP y más estrés oxidativo (radicales libres).

El efecto Warburg

La disfunción mitocondrial lleva a la célula a una reprogramación metabólica a través de la disminución forzosa de la fosforilación oxidativa (OXPHOS) y un aumento de la glucólisis. Como ya hemos visto, ésta no es la mejor forma de conseguir energía, debido a la consiguiente producción de lactato y liberación de hidrogeniones incluso en condiciones de reposo y con disponibilidad de oxígeno.

Este programa metabólico en el que la célula tiende a crear la mayor parte del ATP que necesita mediante la glucólisis

citoplasmática es conocido como «efecto Warburg». En 1923, Otto Warburg descubrió que las células cancerígenas producen hasta el 95 por ciento del ATP que necesitan sin usar las mitocondrias aunque se les proporcione suficiente oxígeno.

Aunque el efecto Warburg es uno de los sellos característicos del cáncer, este fenómeno patológico no es exclusivo de esta temible enfermedad. Lo encontramos en mayor o menor proporción en todas las patologías relacionadas con la disfunción mitocondrial, incluyendo el envejecimiento prematuro. La diferencia radicará en el porcentaje de función mitocondrial que conserve la célula: cuanto mayor sea este porcentaje, menor será la necesidad de recurrir a la glucólisis.

Muy resumido, el efecto Warburg implica:

- Mitocondrias disfuncionales: menos ATP y más radicales libres.
- Exceso de glucólisis: exceso de lactato e hiperacidosis.

9.2. ¿Qué impacto tiene la disfunción mitocondrial en nuestra salud?

En los últimos veinte años se ha acumulado una evidencia muy sólida en torno al hecho de que la disfunción mitocondrial y la consecuente alteración de la bioenergética celular es un elemento omnipresente en todas las patologías crónicas modernas que campan a sus anchas en nuestra sociedad. Hablamos de enfermedades tan prevalentes como la **diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares, el síndrome metabólico, el cáncer, enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer o la enfermedad de Parkinson y autoinmunes como la esclerosis múltiple o el lupus**.

Todas estas enfermedades tienen otro rasgo patológico común: **la inflamación**. De esto también son responsables, en parte, las mitocondrias disfuncionales del organismo. Si recuerdas, cuando la dinámica mitocondrial se ve comprometida, en especial la mitofagia, aparecen las mitocondrias zombis, tremendamente disfuncionales, que liberan sustancias proinflamatorias durante su «vida más allá de la muerte». Cuando a estas mitocondrias también les llega su hora, al haber escapado de la mitofagia, no son recicladas, produciéndose una necrosis en la que se descomponen sin orden y liberan una gran cantidad de sustancias tóxicas y proinflamatorias. Éstas alteran la función del sistema inmunitario, favoreciendo, por ejemplo, el desarrollo de enfermedades autoinmunes, y hacen que éste, en respuesta, se ponga a inflamar. Se instaura un estado de **inflamación crónica generalizada** que es caldo de cultivo para la patología crónica.

Inflamación, trastornos metabólicos y disfunción mitocondrial siempre van de la mano.

De los tres, no está claro cuál es el factor primario, ya que se realimentan entre sí generando un círculo vicioso muy peligroso. A esto debe sumarse que, si nuestras mitocondrias tienen una capacidad deficiente para metabolizar grasas y carbohidratos, éstos se acumularán en exceso en nuestro cuerpo, elevando los niveles de glucosa y lípidos (triglicéridos y colesterol) sanguíneos. Esta situación favorece la obesidad, la enfermedad cardiovascular y el hígado graso no alcohólico.

Por otro lado, sin mitocondrias sanas, es imposible usar la grasa, por lo que la disfunción mitocondrial conduce a la inflexibilidad metabólica, así como a su reprogramación con una mayor dependencia de la glucólisis citosólica. Como la glucosa es el único combustible que podemos usar, nuestro cuerpo nos pedirá constantemente azúcar en forma de pan, pasta, arroz, dulces... Como veremos cuando te hable con más calma de la flexibilidad metabólica, este estado de glucodependencia nos conducirá a la resistencia a la insulina, que a su vez dificulta el uso de grasa como combustible, volviendo a generar otro círculo vicioso.

Exceso de glucosa y grasa en unas arterias inflamadas. ¿Verdad que no suena muy bien? La disfunción mitocondrial está también detrás de **patologías cardiovasculares** como la hipertensión y la aterosclerosis.

El **corazón** también puede sufrir una reprogramación metabólica severa y una disfunción mitocondrial. Esto es especialmente dañino porque el corazón es el tejido del cuerpo más dependiente de usar la grasa como combustible. Entre el 50 y el 70 por ciento del ATP se sintetiza a través de la beta oxidación de ácidos grasos, por lo que, si tus mitocondrias fallan, tu salud se resentirá mucho. Por ejemplo, el aumento de la glucólisis en el corazón puede conducir una insuficiencia cardiaca e incluso al infarto.

¿Y si te dijera que podríamos ver la **enfermedad de Alzheimer como la diabetes del cerebro**? Esta teoría, que parece descabellada, ha cogido mucho peso en las últimas dos décadas, gracias a la aparición de un número cada vez mayor de estudios que relacionan la diabetes con el deterioro cognitivo.

Según estas investigaciones, las personas con diabetes tipo 2 tienen un riesgo de 1,5 a 2 veces mayor de desarrollar la enfermedad de Alzheimer. Es muy impactante comprobar como el 81 por ciento de las personas que la sufren tienen diabetes tipo 2 o unos niveles de glucosa elevada en ayunas. Si bien actualmente se sigue hablando de

las placas de proteína beta amiloide en las neuronas como unas de las culpables de la enfermedad de Alzheimer, cada vez va quedando más claro que no son ni mucho menos las únicas culpables.

Hoy sabemos que un fallo en el metabolismo cerebral es una condición necesaria para desarrollar la enfermedad de Alzheimer. Nuestro cerebro se nutre de tres combustibles: la glucosa (proveniente de la dieta o la gluconeogénesis), el lactato (producido por el músculo durante el ejercicio físico) y los cuerpos cetónicos (producidos durante el ayuno) y para todos necesita de las mitocondrias.

Una característica metabólica de los pacientes que sufren la enfermedad de Alzheimer es la disminución del metabolismo de la glucosa cerebral, que se caracteriza por una menor capacidad para absorber glucosa y usarla como combustible. Por ello, han surgido terminologías novedosas como «diabetes tipo 3» o «diabetes cerebral». Si lo unimos a que, sin ejercicio, el lactato no puede viajar del músculo al cerebro y que con niveles altos de glucosa en la sangre no podemos generar cuerpos cetónicos, tenemos literalmente un cerebro muriéndose de hambre.

Unas mitocondrias disfuncionales también están detrás de otras patologías que no restan años de vida, pero sí mucha vida a los años, como son **la fibromialgia, la fatiga crónica o la migraña**. Recuerda que menos energía y más acidosis es sinónimo de cansancio y dolor generalizado.

Pero tampoco tenemos que padecer necesariamente una patología instaurada en nuestro organismo como muestra de unas mitocondrias disfuncionales. Muchas veces, la alteración es más sutil, no tan evidente como para poder etiquetarla pero sí lo suficiente como para restarnos calidad de vida. Estados de cansancio crónico, de facilidad para sufrir calambres y contracturas musculares, de dificultad para concentrarnos o de tener esa sensación tan incómoda de niebla mental pueden ser signo de unas mitocondrias que no funcionan al cien por cien.

Otra consecuencia que se debe tener en cuenta es que la disfunción mitocondrial está detrás del envejecimiento prematuro y no saludable de nuestro organismo. Si quieres vivir más y mejor, debes mimar tus mitocondrias, ya que su mal funcionamiento conlleva mala salud y una vejez precoz.

Ilustración 14. Posibles consecuencias de la disfunción mitocondrial

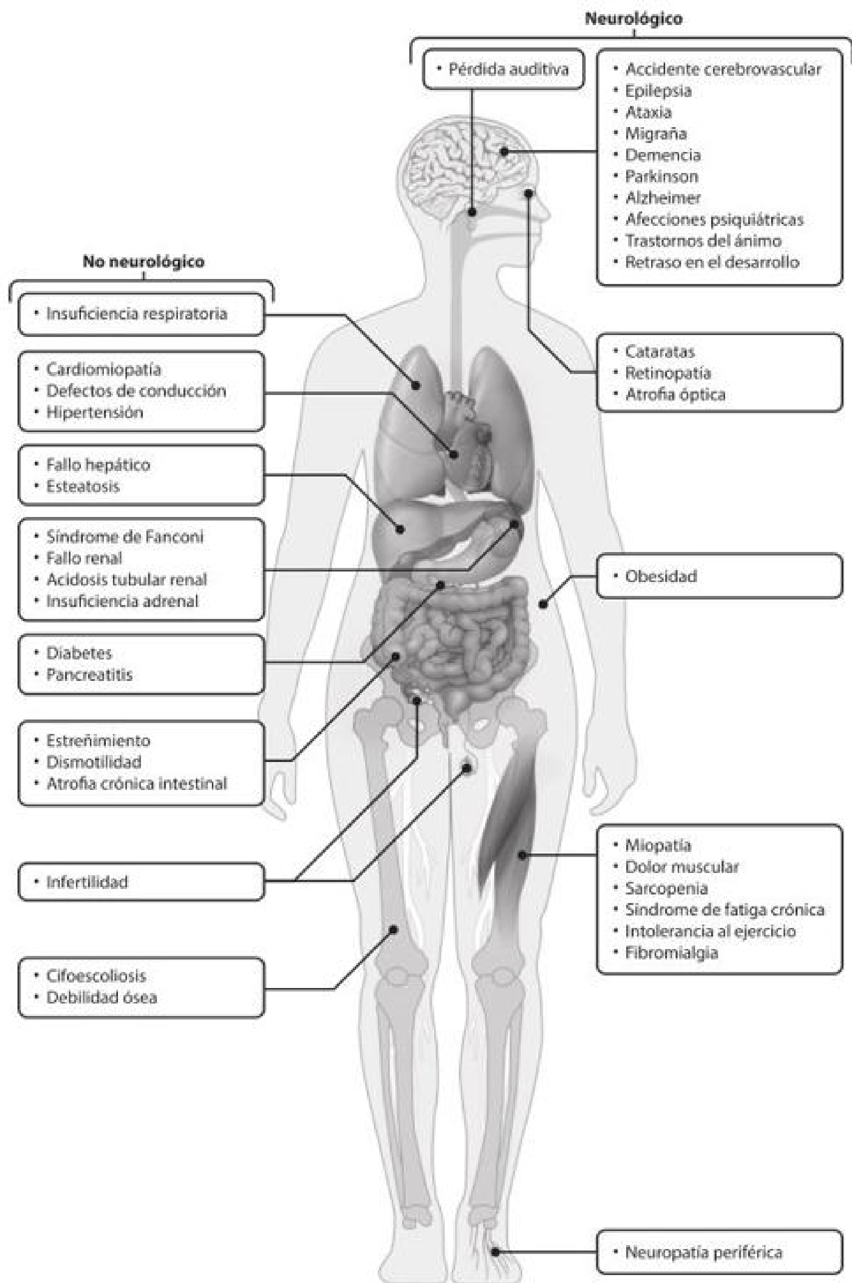


Ilustración: © Salomart.

9.3. Causas de la disfunción mitocondrial

Como vemos, allá donde las mitocondrias dejan de funcionar de una

manera eficiente, el tejido sufrirá por falta de energía. Pero ¿de qué depende que a unas personas les afecte más a una parte del cuerpo que a otras?

Uno de los lemas de la medicina funcional es que **«el texto elige la enfermedad y el contexto produce el conflicto»**. Entendemos por texto nuestra susceptibilidad genética y, por contexto, el medio ambiente en el que vivimos, tanto físico como socioeconómico y cultural, además de nuestro estilo de vida dentro de este medio ambiente. Cuando se produce un conflicto entre el texto y el contexto es cuando tenemos todas las papeletas de enfermar. Como se dice, «la genética carga la pistola, pero es el estilo de vida el que aprieta el gatillo».

La genética de cada persona marcará su susceptibilidad de sufrir los daños de función mitocondrial en un tejido concreto ocasionados por el impacto negativo de la vida moderna.

Éstos podrían ser los factores de riesgo más relevantes:

- Mutaciones genéticas
- Envejecimiento
- Mal funcionamiento de la tiroides
- Sedentarismo
- Inflamación crónica
- Infecciones y disbiosis
- Estrés crónico
- Inflexibilidad metabólica
- Mala dieta
- Hipoxia crónica
- Tóxicos
- Fármacos
- Falta de retos térmicos
- Alteración de los ritmos circadianos

Del mal funcionamiento de la tiroides ya hemos hablado en el capítulo anterior. Iremos abordando el resto de los factores a lo largo del libro para dedicarles la importancia que merecen, pero de algunos, como las mutaciones genéticas, el envejecimiento, las infecciones o los fármacos, nos toca hablar ahora.

Mutaciones genéticas

Si bien a mí me gusta decir que nuestra salud depende más de nuestro estilo de vida que de la genética o la suerte, hay que admitir que la genética tiene su relevancia en nuestro estado. Existen disfunciones mitocondriales heredadas que generan enfermedades muy severas.

Afortunadamente, la incidencia de enfermedades mitocondriales, fruto de mutaciones del ADN hereditarias, como los síndromes de Kearns-Sayre, de Leigh, MERRF y MELAS, entre otros, es bastante rara (1 en 5.000 individuos). La mayoría de las enfermedades genéticas mitocondriales están implicadas en trastornos neurológicos como la miopatía, la ataxia y la neuropatía.

Estas enfermedades mitocondriales son consecuencia del azar, al heredar un ADN mitocondrial alterado fruto de una mutación en las células reproductoras (gametos) de algún ancestro. Lo que no es fruto del azar es el daño que le infligimos al ADN de nuestras mitocondrias con un estilo de vida no saludable.

A diferencia de las mutaciones hereditarias, las mutaciones somáticas ocurren después de la concepción, evolucionan a lo largo del ciclo de vida de un individuo y no se transmiten a la descendencia. Estas mutaciones son las que están detrás del cáncer y otras tantas disfunciones mitocondriales. Ocurren como consecuencia a la exposición a agentes externos e internos que provocan errores en la reparación y la replicación tanto del ADN mitocondrial como del ADN nuclear involucrados en la función de las mitocondrias.

Envejecimiento

Aunque el cuerpo está diseñado para proteger y reparar su ADN, el daño acumulado por el paso del tiempo y la exposición a factores como el sobrepeso, el tabaco, la inflamación crónica, los tóxicos, el estrés, las infecciones recurrentes y la contaminación incrementan el ritmo al que el cuerpo se ve obligado a realizar esas tareas de restauración. Con ello, aumentan los posibles errores que puedan darse en esa reparación, dando lugar a lo que se conoce como «inestabilidad genómica».

Precisamente uno de los grandes generadores de la inestabilidad genómica es el propio envejecimiento. Con el paso de los años, el daño en el ADN mitocondrial se va acumulando, alterando con ello la dinámica mitocondrial y la bioenergética. La disminución de la capacidad mitocondrial se considera, de hecho, un sello distintivo del envejecimiento.

Esto nos sirve para entender que, a medida que pasan los años, tenemos que cuidar de nuestras mitocondrias más si cabe, ya que son en sí una fuente de longevidad. Muestra de ello es el ambicioso proyecto europeo GEHA en el que se comparó la variabilidad del mtDNA en 2.200 europeos nonagenarios y se extrajo como conclusión

una fuerte asociación entre una mejor función mitocondrial y la longevidad.

Fármacos

Es importante que sepas que el uso crónico de medicamentos daña las mitocondrias al provocar disfunciones en las mismas. Dentro de los fármacos enemigos de las mitocondrias se encuentran algunos tan comunes como el paracetamol (acetaminofeno), antiinflamatorios como el ibuprofeno y el diclofenaco, los corticoides, antibióticos como las tetraciclinas y algunos menos comunes como antirretrovirales usados en el tratamiento del VIH y algunos fármacos anticáncer como el tamoxifeno.

Mención especial se merecen las famosas estatinas (simvastatina, atorvastatina, fluvastatina, cerivastatina…) que en su uso para disminuir el colesterol se convierten en unas grandes generadoras de disfunción mitocondrial. No sólo bloquean la producción del organismo de colesterol, sino que lo hacen también con la coenzima Q10, disminuyendo drásticamente los niveles de esta sustancia tan importante para las mitocondrias. Durante mis años como fisioterapeuta, me he encontrado muchas veces con pacientes que sufrían de un cansancio y dolor muscular generalizado, acompañado con dolor de cabeza y ligeras pérdidas de memoria. Este cuadro que parecía ser inexplicable se resolvía tras hablar con los pacientes: todos comentaban que días atrás habían empezado a tomar las «pastillas del colesterol». Para los casos en los que las estatinas sean obligatorias, tomar un suplemento de coenzima Q10 (de 100 a 200 mg/día) parece ayudar bastante con la afectación mitocondrial, como aseguran muchos estudios y yo mismo he podido comprobar gracias a mi experiencia con los pacientes.

Infecciones

Dado que las mitocondrias desempeñan un papel importante en la regulación de la respuesta inmunitaria a las infecciones, múltiples bacterias y virus apuntan hacia ellas para secuestrar nuestras funciones celulares.

Bacterias como *Listeria monocytogenes*, *Helicobacter pylori*, *Shigella flexneri*, *Legionella pneumophila* y *Chlamydia trachomatis* y virus como el del *Epstein Barr* (EBV), de la hepatitis C, del VIH, de la gripe A (Influenza A) o el SARS-CoV-2 (responsable de la COVID-19) atacan a las mitocondrias a través de diferentes mecanismos.

En general, los efectos a largo plazo de estas infecciones en las mitocondrias son raros. Su función se restaura normalmente cuando se supera la infección, aunque en un grupo de pacientes persiste una disminución en la función mitocondrial que se traduce en una fatiga

crónica y una alteración metabólica que les impide oxidar ácidos grasos y eliminar el lactato. Como consecuencia, aumenta el riesgo de enfermedades relacionadas con el metabolismo como diabetes y dislipidemia. Esto es lo que ocurre en el caso del síndrome de «*long COVID*» o «COVID de larga duración».

Mutaciones, infecciones, envejecimiento y medicamentos. Con todo esto no pretendo meterte miedo ni mucho menos que dejes de usar fármacos cuando te los prescriba tu doctor y sean necesarios. Lo que pretendo es empoderarte para que comprendas que en estas situaciones tendrás que mimar tus mitocondrias.

Para concluir, debes saber que éstas son las causas de disfunción mitocondrial que hemos visto ahora, pero que no son las únicas ni las más importantes. Como en casi todos los aspectos de la salud, el sedentarismo, una mala dieta, el estrés crónico o la falta de sueño ocupan los puestos más altos de responsabilidad en la disfunción mitocondrial. Pero no te agobies, vamos a ir viéndolos poco a poco y voy a darte las estrategias necesarias para que puedas mejorar radicalmente la función de tus mitocondrias.

10

«0 es 3» (crónico)

10.1. QUÉ ENTENDEMOS POR ESTRÉS

Que levante la mano quien se sienta estresado. Me encantaría que tú no la hubieras levantado, pero me temo que estarás pensando: «¡Ojalá hubiera podido no moverla!». Si el estrés es tu compañero en esta vida moderna, bienvenido al club de los estresados. Hoy en día podemos afirmar sin miedo a equivocarnos que **el estrés es una epidemia moderna**. En un momento u otro, a la mayoría de nosotros nos toca lidiar con sentimientos de estrés. Según los estudios, más de un 60 por ciento de la población adulta afirma sentirse estresada de manera cotidiana. Últimamente, incluso tengo la sensación de que ese porcentaje se queda pequeño.

La evidencia científica se acumula. Los efectos perniciosos del estrés crónico en nuestra vida impactan de manera similar al sedentarismo, una mala dieta o la falta de sueño. De hecho, según el doctor Bruce Lipton, **entre el 75 y el 90 por ciento de todas las visitas al médico están relacionadas con afecciones causadas por el estrés**.

Pero ¿sabemos realmente lo que es el estrés?

En el año 2000, el gran neurocientífico Bruce McEwen definió el estrés como «toda amenaza a la homeostasis del organismo tanto real (física) como esperada (psíquica) creada por factores tanto endógenos como exógenos que deriva en una respuesta fisiológica y/o conductual».

Quizá veas el estrés como algo inútil, pero piensa que somos el fruto de un largo proceso evolutivo en el que durante decenas de miles de años tuvimos que hacer frente a peligros que ponían en riesgo nuestra vida. Ser capaces de preparar a nuestro cuerpo para responder ante amenazas como tribus enemigas, falta de agua y comida, depredadores o frío y calor hizo que nuestros ancestros sobrevivieran y tanto tú como yo podamos estar aquí.

Hoy el estrés también puede salvarte la vida. Imagina que estás cruzando un paso de peatones y el coche que tenía que parar se despista y no frena. Seguro que agradeces poder pegar un salto y librarte de ser atropellado. Es al estrés al que debes dar las gracias por esa agilidad inesperada. Un poco de estrés te hará rendir más cuando es necesario en el trabajo, ante una prueba deportiva o para realizar un examen importante. El problema llega cuando se cronifica y se convierte en nuestro compañero de vida y, por tanto, en un riesgo

para nuestra salud.

En definitiva, el estrés nos prepara para responder de manera rápida y potente ante un peligro que podría costarnos la vida. No en vano, en fisiología, a la respuesta de nuestro cuerpo ante el estrés, se la denomina «lucha o huida» (dominada por el sistema nervioso simpático) porque justo está pensada para eso. Para preparar a nuestro cuerpo para pelear o correr.

¿Cómo funciona el estrés?

Cuando nuestro cerebro percibe un peligro potencial, activa el sistema simpático, que liberará en el cerebro un neurotransmisor conocido como noradrenalina y, a la sangre, una gran cantidad de una hormona llamada adrenalina. La noradrenalina y la adrenalina son conocidas como las catecolaminas y juntas van a tener un potente efecto activador de nuestro organismo.

- Nos pone en estado de alerta.
- Aumenta los ritmos cardiaco y respiratorio.
- Libera energía de las reservas:
  - Grasa del tejido adiposo (lipolisis).
  - Glucosa del glucógeno hepático (glucogenólisis).
- Tensa nuestros músculos y activa de forma potente sus mitocondrias.

Otra acción que realizan las catecolaminas es la de bloquear la entrada de los sustratos energéticos (glucosa y grasa) a todos los órganos de nuestro cuerpo, salvo a dos estructuras, la musculatura y el sistema inmunitario, a los que inunda de combustible. Esta respuesta sería genial si estuviésemos huyendo de un león, puesto que el músculo empezaría a quemar glucosa y grasa como un loco para escapar, lo que activaría tanto la glucólisis como las vías mitocondriales (reciclando el lactato y los H+). Además, el sistema inmunitario se pondría a inflamar mucho como defensa ante una posible herida.

¿Y qué pasa con el cerebro? En situaciones de estrés, el combustible preferido por las mitocondrias cerebrales es el lactato, así que no habría ningún problema, ya que éste se debería estar produciendo a raudales por la musculatura de tus piernas mientras pones «pies en fosfatina» para evitar ser la cena de un depredador. Mientras tus músculos te permiten correr, las mitocondrias consiguen que a tu cerebro no le falte la energía.

¿No deberían preocuparnos las mitocondrias del resto de los órganos? Es cierto que sufrirían un poco por falta de alimento, pero, como el evento estresante duraría poco, no pasaría nada. El problema es que hoy en día respondemos de igual manera a los leones imaginarios (llámense hipotecas, discusiones de trabajo y/o de pareja, atascos...) que a los depredadores de antaño. En este contexto moderno, las mitocondrias del cuerpo sufrirán por defecto y las del músculo por exceso (les entrará tanto combustible que colapsarán). Como el músculo no se mueve, no producimos lactato, por lo que el cerebro sufre y el único que da uso a la glucosa es el sistema inmunitario, que se pondrá a inflamar como un loco en respuesta a una posible herida que nunca se producirá.

Por si fuera poco, ¿a que a nadie se le ocurriría tomar un helado cuando le están persiguiendo para matarlo? Pero consolarnos con comida insana es justo lo que hacemos cuando nos estresamos con los problemas de la vida moderna, con lo que echamos aún más leña a la hoguera metabólica que tenemos montada.

10.2. Estrés agudo frente a estrés crónico

Nuestra historia con el estrés se puede complicar aún más. Entra en escena un actor que seguro que te suena mucho: el cortisol, la hormona del estrés crónico.

Cuando nuestro cerebro percibe que el evento estresante va para rato (a nivel evolutivo podría ser, por ejemplo, una sequía de larga duración), empieza a liberar cortisol a la sangre. Esta hormona prepara nuestro cuerpo para hacer frente a un estresor de difícil solución que se va a mantener en el tiempo, por lo que activa el modo ahorro para no gastar más de lo indispensable, y sólo permite las funciones estrictamente necesarias, apagando la tiroides pero manteniéndonos en un estado de continua activación y de hipervigilancia.

Unos niveles de cortisol crónicamente elevados son muy perniciosos para la salud, ya que frenan el metabolismo mitocondrial:

- Impidiendo usar la grasa como combustible.
- Aumentando la glucólisis citoplasmática.
- Aumentando los niveles de glucosa en sangre para mantener a la glucólisis e induciendo los antojos constantes de dulce.
- Haciendo que generemos menos energía con mayor daño (estrés oxidativo) en nuestros tejidos.

El cortisol es anabólico en la grasa, porque la hace crecer para aumentar las reservas energéticas, y catabólico en la musculatura, al destruirla para obtener energía de ella mediante la conversión de sus aminoácidos en glucosa. Además, cuando estamos bajo la dominancia del cortisol, la mayor parte de la energía va hacia el sistema inmunitario, por lo que aumentará su capacidad inflamatoria, pero, curiosamente, disminuirá su capacidad de protegernos contra los virus.

Podríamos decir que el cortisol elevado de forma crónica favorece en nuestro cuerpo justo todo lo contrario de lo que deseamos. Es un veneno para las mitocondrias. Sólo tienes que ver cómo, cuando estamos estresados, no podemos tirar de nuestro cuerpo aunque nos encontremos agitados.

El estrés psicológico y los estados emocionales negativos tienen un profundo impacto en las mitocondrias. Uno de los mayores expertos en estrés, el profesor e investigador Bruce McEwen, puso de manifiesto cómo el estrés crónico influye en varios aspectos de la biología mitocondrial, desde las actividades enzimáticas de la cadena respiratoria hasta el número de copias de ADN mitocondrial, alterando su correcto funcionamiento.

El estrés lo debería sentir el cuerpo, no la mente

Estamos diseñados para responder ante el estrés físico agudo, para lidiar contra el frío, contra el calor, contra el hambre, contra la sed, responder a la necesidad de correr, huir o pelear. Estos desafíos, lejos de ser perjudiciales, son tremendamente beneficiosos y nos sirven de poderosos estímulos de fortalecimiento de nuestro organismo. Cuando lo exponemos ante estos desafíos ancestrales, disparamos respuestas celulares como Nrf2, PGC1α, las sirtuinas o la AMPK, que, como ya sabes, mejoran la salud y la funcionalidad de nuestras mitocondrias.

Además, si hemos dado buena respuesta a la activación del simpático, nuestro cuerpo nos premiará con la activación del sistema nervioso parasimpático, responsable de la calma y el bienestar. Si alguna vez te habías preguntado por qué te sentías tan relajado después de hacer deporte, el sistema parasimpático es la respuesta.

Para lo que nunca estaremos preparados será para lidiar contra el estrés mental crónico. Nuestro cuerpo no sabe responder a un estrés que no habita en el terreno real, para un peligro que no puede ver, oír, oler ni sentir en la piel. No sabe responder a un estrés al que no podemos hacer frente con nuestro cuerpo, un estrés del que no puedes huir ni al que puedes enfrentarte. Un estrés que inunda nuestras arterias de cortisol. Éste es el estrés de la vida moderna, éste es el estrés que destruye tus mitocondrias.

AMENAZAS ANCESTRALES	AMENAZAS MODERNAS
Características	
Agudas	Crónicas
Catecolaminas	Cortisol
De corta duración	De larga duración
Intensas	Menos intensas
Habitan el cuerpo	Habitan la mente
Solución con movimiento	Difícil solución
Ejemplos	
Falta de comida (ayuno)	Exceso de calorías (ultraprocesados)
Estrés térmico (frío, calor)	Confort térmico (aire acondicionado, calefacción)
Ejercicio intenso (cazar/huir)	Sedentarismo
Radiación solar	Radiaciones electromagnéticas (wifi, bluetooh, microondas...)
Fitoquímicos	Químicos artificiales (pesticidas, productos de limpieza...)
«Suciedad» limpia de la naturaleza	Contaminación ambiental

Fuente: Elaboración propia.

El problema que padecemos es que la vida moderna es tan antinatural que nos obliga a convivir a diario con cierto nivel de estrés crónico aderezado con picos puntuales de estresores agudos. Por ejemplo, imagina que llevas días estresado por un problema con un compañero de oficina. Cuando estás llegando al trabajo, te sorprende un pedazo de atasco que ya anticipas que te hará llegar tarde. Tu cortisol elevado ahora tiene como compañero a un pico de liberación de catecolaminas sin ningún sentido, ya que no vas a dejar el coche en el atasco y salir corriendo hacia tu trabajo. Aunque, para tu cuerpo, ésa sería la respuesta más adecuada.

Habitamos en exceso la mente y en defecto nuestro cuerpo. Nos pasamos el día preocupados por posibles problemas que la mayor parte de las veces no ocurren. La cuestión es que allí donde centramos nuestra atención es hacia donde dirigimos nuestra energía. Cuando nos pasamos la vida estresados por leones imaginarios, anticipando problemas, nuestro cuerpo reacciona ante esos pensamientos como si fueran realidad generando una cantidad ingente de cortisol que pone nuestro metabolismo bajo mínimos.

10.3. Posibles soluciones al estrés crónico

He de reconocerte que hablar de soluciones para un problema tan complejo eleva al máximo mi síndrome del impostor. Tómate estos consejos no como provenientes de alguien que te mira desde un pedestal, sino de otra persona que cada día se levanta con sus propios bucles mentales, pero que trabaja para afrontarlos leyendo, acudiendo a talleres y formaciones, dejándose acompañar por las personas

adecuadas para ello y, sobre todo, llevando a la práctica todo lo que aprende. Por ello, quiero compartirlo contigo con la esperanza de que también te ayude.

Mientras que el estrés es inevitable, el sufrimiento es opcional. No siempre podemos controlar las fuentes de estrés en nuestras vidas, pero podemos cambiar la forma en que reaccionamos ante ellas. La buena noticia es que nuestro organismo está diseñado para experimentar y manejar el estrés. Con algo de práctica, tenemos el poder de aprender a usarlo a nuestro favor (por ejemplo, el hecho de que el estrés nos mantiene más alerta y atentos), mientras controlamos mejor sus reacciones negativas, como los problemas de digestión o el ceder a los antojos de alimentos poco saludables.

Para mejorar tu respuesta al estrés moderno, reevalúa tus prioridades y desarrolla herramientas psicológicas y de estilo de vida.

Tenemos dos vías de actuación igualmente importantes que nos pueden ayudar a manejar el estrés crónico. Esta separación ficticia nos sirve a modo explicativo, pero no olvides que la mente es producto de nuestro cerebro, que pertenece a nuestro cuerpo:

- Trabajar la esfera de la mente.
- Trabajar la esfera del cuerpo.

La esfera de la mente

Sueño reparador

El dalái lama suele decir que el sueño es la mejor meditación. Yo añadiría que además es la mejor medicina. Dormir no es un privilegio, es una necesidad vital que muchas personas deciden ignorar, llevados por la vorágine de la vida moderna que nos empuja a alargar el día robándole horas a la noche.

La falta de sueño es uno de los factores estresantes más dañinos para nuestro organismo. Una mala noche de sueño es sinónimo de cortisol elevado durante el día siguiente. Así que asegúrate tus 7 u 8 horas de sueño reparador cada noche. Apaga el televisor antes, atenúa las luces y date tiempo para relajarte antes de acostarte.

Meditación

Meditar es llevar la mente a casa. Numerosos estudios han demostrado que la meditación disminuye el estrés, la ansiedad, la depresión, mejora la capacidad de concentración, la claridad mental y así un largo etcétera. Incluso hay estudios que hablan sobre cómo la práctica diaria de la meditación incide de manera positiva en las mitocondrias.

En un estudio llevado a cabo en el Hospital General de Massachusetts en Boston, la meditación basada en la atención plena mejoró la expresión de genes asociados con el metabolismo energético, la función mitocondrial, la secreción de insulina y el mantenimiento de los telómeros. Por otro lado, silenció genes relacionados con la respuesta inflamatoria y las vías relacionadas con el estrés. Los 26 participantes aprendieron una rutina de atención plena de 10 a 20 minutos y la realizaron todos los días durante ocho semanas.

Es posible que pienses que la meditación es genial, pero que ya te faltan horas en el día como para ponerte a «no hacer nada». Si eres de los que piensan así, te voy a responder con una de mis frases favoritas de uno de mis referentes, el inversor y empresario Naval Ravikant: «Si crees que no tienes tiempo para meditar, deberías hacerlo el doble».

Tampoco pretendo engañarte. Como todo lo que vale la pena en la vida, meditar requiere de práctica y dedicación diaria. Existen muchos tipos diferentes de meditación: *mindfulness*, *vipassana* (la que se suele recomendar para principiantes), con mantras, trascendental… Todo es cuestión de que te informes sobre cuál de todas es la que más te encaja, leas al respecto, busques tutoriales en YouTube y, por qué no, te pongas en manos de algún profesional que te enseñe a meditar.

Ten presente que meditar no es algo místico, tampoco se trata de dejar la mente en blanco. Es un **estado en el que se presta atención, sin juzgarlos, a los contenidos de tu consciencia: pensamientos, sensaciones, emociones**.

Para que no caigas en la parálisis por análisis, te recomiendo que empieces desde ya con las meditaciones guiadas que puedes encontrar en YouTube o en *apps* como Bambú. Antes que sentarnos solos a meditar, es mejor tener una voz que te guíe al principio, te diga en qué enfocarte y te recuerde poner atención cada vez que tu mente se vaya por las ramas.

Una práctica de meditación muy sencilla y efectiva es el *body scan*, que podríamos resumir en **«siéntate y siéntete»**. Es una técnica genial para reconectar con tu cuerpo que puedes hacer tanto sentado como tumbado. Simplemente implica tomarnos un tiempo para hacer un barrido prestando atención por todo nuestro cuerpo, prestando atención a cada una de las partes, como si te enfocaran con una linterna que recorre desde los pies hasta la cabeza, poniendo consciencia en cada uno de los puntos que componen nuestra

estructura corporal. Debes esforzarte por percibir las sensaciones del cuerpo; sentir el contacto con el suelo, la silla o la ropa; sensaciones de frío, calor, hormigueo o la ausencia de ellas; si estás tenso o relajado; si notas alguna parte de tu cuerpo encogida o incómoda o algún tipo de tensión o de molestia.

Durante el «escáner» es importante que pongas también tu atención en la respiración y las sensaciones que provoca en tu cuerpo. Observa cada inhalación y exhalación y cómo tu abdomen y el pecho se hinchan y se deshinchan con la respiración. Finalmente, si has notado algún dolor o incomodidad, haz el ejercicio de llevar la respiración a esa zona del cuerpo (sé que suena muy raro, pero tienes que experimentarlo para entenderlo) y notarás cómo, tras unas respiraciones, la tensión de esa zona habrá disminuido.

Un *body scan* puede convertirse en los 10-15 minutos mejor invertidos del día, ya que no sólo calma la mente, sino también el cuerpo.

Pasa más tiempo en la naturaleza

No hace falta que te comente el efecto sanador que tiene dar un paseo por el bosque o la playa. Vivir aislados de la naturaleza nos estresa y deprime, así que invierte todo lo que puedas en pasar tiempo en entornos naturales. Y recuerda: si no puedes ir al bosque, pasear en un parque también muestra beneficios antiestrés.

Escucha música

¿Cuál es esa canción te hace sentir mejor? Quizá sea una que te traslada a tu infancia, a un momento feliz, a un lugar especial o simplemente porque su melodía o su letra te inspiran. La música evocadora o inspiradora reduce el cortisol. ¿Qué tipo de música? La que te inspire o te motive a ti, así de sencillo. Cuando te sientas abrumado por el estrés de la vida moderna, tómate un descanso y escucha tu canción en bucle.

Te voy a contar lo que me funciona a mí. Cuando necesito desconectar de lo externo para conectar conmigo, suelo recurrir al maestro del violonchelo Yo-Yo Ma tocando Bach o a Ludovico Einaudi. Recuerda que, porque a mí me funcione esta música, no quiere decir que vaya a ser la que más te sirva a ti.

Cultiva conexiones sociales

Las conexiones sociales fuertes ayudan a las personas a reducir los niveles de estrés, ansiedad y depresión. Aunque tampoco hace falta ningún estudio para saber que experimentar pertenencia a un grupo que te hace sentir seguro, comprendido, arropado y no juzgado es vital para encontrarse bien.

Así que, cuando te sientas estresado, tómate un descanso para llamar a un amigo o un ser querido. Una voz tranquilizadora, incluso por un minuto, puede poner todo en perspectiva.

La esfera del cuerpo

La mejor solución para manejar el estrés es darle un sentido evolutivo: generar una coherencia entre la naturaleza del estímulo y la respuesta de nuestro organismo. Lo fisiológico es que la sensación de agitación de nuestra mente fruto del estrés venga seguida de una sensación o acción corporal, como, por ejemplo, correr a toda velocidad para escapar del león que nos persigue.

Para salir de tu mente, debes entrar de nuevo en tu cuerpo. Debes volver a conectar con él mediante la respiración, volver a sentir hambre con los ayunos, volver a sentir la tensión de tus músculos contrayéndose, volver a sudar de calor y a tiritar de frío. Volver a sentir el sol en tu piel.

Si usamos los estresores ancestrales en dosis terapéuticas (cortas, intensas, pero seguras, lo que llamamos «hormesis»), tus mitocondrias responderán ante ellos trabajando al máximo, lo que las llevará a producir más de los temidos radicales libres. Lejos de dañar su función, éstos les servirán como estímulo para proliferar, crecer y mejorar sus capacidades. Cuando escribo estas líneas, no puedo dejar de recordar a una persona, de la que no diré su nombre, que me dijo que fumaba algún que otro cigarrito y se bebía alguna copa de vez en cuando para activar la hormesis en su cuerpo...

Nuestro organismo está más que preparado para responder ante el estrés natural y llega incluso a usarlo como un estímulo para fortalecerse. Sin embargo, para lo que nunca estaremos preparados es para el estrés artificial de las amenazas modernas. Por eso es importante que, en lo que podamos, reconduzcamos el estrés hacia su sentido original, cuando tenía una lógica evolutiva.

Antes de pasar a hablar de la inflamación, déjame que te ponga un último ejemplo sobre el estrés natural versus artificial. Para ello, déjame que te cuente sobre uno de los seres más importantes para mí, mi perrito Limón.

Limón es un perro excepcional, lleno de emoción y bondad. Mi pareja María y yo solemos decir que es puro sentimiento: para lo bueno cuando te recibe tras un día de trabajo, como si fueras el ser más importante del planeta, pero también para lo malo, ya que entra en pánico con los ruidos estridentes. Y aquí es donde viene la valiosa lección de doctor Limón: cuando escucha truenos (estresor natural), se pone nerviosísimo, ladra sin parar, quiere que lo cojas en brazos y que no lo toques, todo a la vez. La solución es darle un paseo, porque cuando siente la lluvia sobre su cuerpo calentado por unas

mitocondrias que funcionan a tope para hacerlo correr, cualquier atisbo de estrés desaparece. Puedes ver cómo disfruta y llega a casa muy descansado. Sin embargo, cuando el ruido proviene de los fuegos artificiales (estresor artificial), no hay escapatoria que valga, salvo verlo tiritar de miedo escondido tras el sofá, mientras noto como mi corazoncito se encoge. Yo me pregunto cuántos de nosotros no desearíamos escondernos a diario por el peso de una vida moderna que nos empuja pero no nos hace movernos.

11

El problemón de la inflamación

11.1. Soluciones antiguas a problemas modernos

Como hemos visto, una vida llena de estresores artificiales y carente de estresores naturales daña nuestras mitocondrias y nos deja sin energía. Pero también impacta de manera negativa en nuestro sistema inmunitario y en sus mitocondrias, conduciéndonos hacia un estado de inflamación crónica.

El sistema inmunitario es, junto con el cerebro, el gran supersistema de nuestro organismo, ya que se encarga de dos funciones vitales. Por un lado, nos defiende de los patógenos; por otro, se encarga de regenerar nuestro cuerpo ante una herida o lesión. ¿Nunca te has parado a pensar lo mágico que resulta la manera en la que tu cuerpo es capaz de cerrar una herida? Sin tu sistema inmunitario no podrías sobrevivir ante un corte, ya que no se podría frenar la hemorragia y la herida sería usada por los patógenos para entrar en tu cuerpo. Es el encargado de vigilar y defender la puerta del castillo que es tu cuerpo, pero también incluye a los carpinteros capaces de arreglar esa puerta si llega a dañarse.

El sistema inmunitario es una especie de superhéroe, siempre en guardia para rescatarnos de los malos. Pero ¿qué pasaría si los malos con los que ha estado combatiendo durante más de un millón de años hubieran sido sustituidos por un peligro hasta ahora desconocido?, ¿qué pasaría si las armas con las que la evolución dotó a nuestro Superman particular fueran inútiles contra los adversarios a los que se enfrenta?

Nuestro sistema inmunitario no está adaptado a un mundo en el que las heridas del cuerpo han sido sustituidas, en su mayor parte, por heridas del alma. Un mundo en el que la comida nos enferma en vez de sanarnos. Un mundo en el que decidimos adoptar conductas que nos enferman de una manera voluntaria como fumar, beber alcohol, comer comida basura o elegir el sofá en lugar del campo. En este contexto tan dañino, las herramientas con las que cuenta nuestro sistema inmunitario carecen de eficacia, pero cientos de miles de años de repetir la misma conducta exitosa que nos salvó llevan a nuestro viejo superhéroe a responder con sus antiguas armas a los peligros modernos.

¿A qué me refiero con esas armas? A inflamarnos a la primera de cambio en respuesta a los estímulos dañinos de la vida moderna, ya que ésta es la respuesta defensiva más antigua conservada en nuestro

organismo.

Otro de los grandes pecados de la vida moderna es el de habernos separado de nuestros viejos amigos. Vivimos tan desconectados de nuestra naturaleza que hemos perdido el contacto con el universo bacteriano que habitaba en nuestro interior. Según los estudios, las bacterias que viven en la ciudad sobreviviendo al humo, a los productos químicos y al asfalto no se parecen en nada a nuestras viejas amigas con las que el sistema inmunitario mantenía largas conversaciones, por ejemplo, en nuestros intestinos.

Una microbiota saludable nos defendía de patógenos, por lo que el sistema inmunitario podía relajarse un poco, ya que contaba con sus refuerzos bacterianos. Sin embargo, la vida moderna ha dejado a nuestro defensor solo ante el peligro. Y, por si fuera poco, le toca lidiar con bacterias que, lejos de protegernos, aguardan sigilosamente en nuestra boca, nuestro intestino, nuestros pulmones y nuestros conductos urinarios esperando un despiste inmunitario para liarla parda. De microbiota y su relación con la salud de las mitocondrias hablaremos un poquito más adelante.

11.2. Impacto de la inflamación en nuestras mitocondrias

¿Qué tiene que ver todo esto con las mitocondrias? Mucho, ya lo verás.

Un sistema inmunológico relajado obtiene su energía a través de sus mitocondrias, usando grasa como combustible. Sin embargo, cuando se activa ante una amenaza, el metabolismo mitocondrial da lugar a un metabolismo citoplasmático. En ese momento, los millones de células que conforman nuestro defensor se convierten en adictas al azúcar. Tanto es así que son capaces de inducir en el organismo una resistencia a la insulina, la hormona necesaria para que la glucosa entre en tus células, para quedarse con toda la glucosa disponible para salvarnos la vida.

Desgraciadamente, nuestros linfocitos no han aprendido a pagarnos la cuota de la hipoteca, no podemos mandar a un macrófago a la reunión de vecinos ni un neutrófilo sabe cómo pelear contra el humo de la furgoneta que respiras mientras cruzas el paso de peatones. El organismo no ha tenido tiempo para aprender a combatir estos problemas que son prácticamente recién llegados en el extensísimo camino de la evolución. Por eso tu sistema inmunitario responde produciendo moléculas inflamatorias y radicales libres que vierte a la sangre horadando poco a poco nuestra salud. Y no sólo a la sangre. Cuando estamos muy estresados, las células defensivas de tu cerebro generan grandes cantidades de radicales libres como el agua oxigenada. Has escuchado bien: agua oxigenada bañando tu cerebro en respuesta al estrés. ¿A que ahora no te extraña que la inflamación y

el estrés crónico estén detrás de muchas patologías neurodegenerativas como la demencia?

Vives una vida que lleva a tu sistema inmunitario a renunciar a las mitocondrias y tal es el grado de esa renuncia que es capaz de convencer al resto de las células del cuerpo para que se pasen al programa glucolítico. Si quieres recuperar la salud de tus mitocondrias, una de las primeras cosas que tienes que hacer es adoptar una vida antiinflamatoria. Todo esto lo explica de forma magistral la doctora Sari Arponen en su libro *El sistema inmunitario por fin sale del armario*.[2]

La hormesis, además de darle sentido al estrés, como hemos visto en el capítulo anterior, también se lo da al sistema inmunitario. De nuevo, la solución pasará por darle a nuestro sistema inmunitario peligros ancestrales en dosis terapéuticas.

Como ya sabes, detrás de la inflamación, se esconden elementos nocivos como el estrés crónico, la falta de sueño, el sedentarismo o los contaminantes ambientales. Algo que muy a menudo pasamos por alto es que la inflamación de nuestro cuerpo depende en buena medida de lo que ponemos en nuestro plato.

Una alimentación de mala calidad es un factor que genera y mantiene la inflamación en nuestro cuerpo. Una dieta que alimenta la inflamación es rica en azúcares y grasas de mala calidad, de baja densidad nutricional (pobre en vitaminas y minerales), con carencia de ácidos grasos antiinflamatorios (omega 3) y baja en fitoquímicos (principios activos antiinflamatorios presentes en las plantas). Desgraciadamente, ésta es la manera de alimentarse de muchas personas hoy día.

Si hablamos de nutrientes contra la inflamación crónica, es esencial el poder de los fitoquímicos (mención muy especial para la curcumina) y de los omnipresentes magnesio y vitamina D, fiel reflejo del poder curativo del sol. El omega 3 vuelve a entrar en escena y por todo lo alto.

11.3. El omega 3

Las grasas omega 3 EPA y DHA son básicas para reducir la inflamación, ya que constituyen la materia prima de las hormonas antiinflamatorias. Recuerda que están presentes sobre todo en el pescado azul, el marisco, los crustáceos y las algas. Si no aparecen de manera habitual en nuestra dieta, al menos tres veces por semana, deberíamos complementarla con un suplemento de omega 3 rico en EPA y DHA.

Cuando hablamos de suplementos de omega 3, existen diferentes formulaciones que determinarán su capacidad para alcanzar su lugar de acción, su biodisponibilidad. El mayor condicionante para su

biodisponibilidad es la forma química en que se presente dicho omega 3. La manera más eficaz de suplementación llega en forma de triglicéridos.

Es muy importante que el suplemento que elijamos sea de calidad, por lo que siempre recomiendo que tenga el **sello de Certificación IFOS** (International Fish Oil Standards), la **certificación más conocida en lo que respecta a suplementos de omega 3**. Consiste en un protocolo de análisis publicado por un organismo canadiense independiente que posee la maquinaria más avanzada para probar específicamente la calidad de las materias primas. Sólo los omega 3 clasificados con cinco estrellas IFOS provienen de un aceite de pescado puro que está certificado y obtenido por ultrafiltración y destilación molecular.

La dosificación de EPA/DHA para reducir la neuroinflamación, mejorar el flujo sanguíneo y aumentar la neuroplasticidad está entre 1 y 2 g/día.

Tienes que tener presente que, si te alimentas a base de grasas vegetales omega 6 industriales de baja calidad como los aceites de soja, maíz o girasol, añadidos en la práctica totalidad de alimentos procesados, el efecto antiinflamatorio del omega 3 se diluirá en el mar de grasas inflamatorias. De ahí que los estudios hagan hincapié en el balance omega 3/omega 6 o, lo que es lo mismo, de nada sirve elevar uno si no reducimos el otro.

12

El estrés oxidativo

La del oxígeno y las mitocondrias es una larga historia de amor. Pero, como en todas las relaciones, de vez en cuando surgen conflictos que tienen que ser resueltos porque, de lo contrario, terminan por destruir a la pareja. En este caso, los conflictos son los radicales libres, mientras que los antioxidantes se convierten en terapeutas de pareja, especialmente, uno conocido como «glutatión».

12.1. Los radicales libres

En el capítulo 7 explicamos cómo se formaban los radicales libres, que han ido apareciendo luego en otros apartados. Repasemos brevemente. El secreto de la gran cantidad de energía que puede producir una mitocondria radica en su capacidad para hacer correr a toda velocidad a los electrones en la cadena respiratoria hasta que son frenados por el oxígeno, que hace de receptor y los acepta. Lo que ocurre es que este proceso es tan violento que a veces el flujo de electrones altera la estructura del oxígeno, haciendo que contenga un número impar de electrones. Cuando esto ocurre, se convierte en lo que se conoce como una especie reactiva de oxígeno (ROS) o radical libre. El radical superóxido ($O_{2\ -2}$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) son los dos principales radicales libres que debes conocer.

Los radicales libres son como un niño con hiperactividad en una juguetería. No pueden parar de trastear con todo y dañan todo lo que tocan. Son moléculas altamente reactivas que reaccionan a todo lo que se les ponga a tiro, pueden atacar biomembranas, enzimas, proteínas, lípidos e incluso el ADN nuclear y mitocondrial, generando lo que se conoce como **estrés oxidativo**.

Un exceso de estrés oxidativo conduce a la célula a un proceso de deterioro continuado que puede tener severas consecuencias para la salud, como la alteración en el ADN, un envejecimiento prematuro o ciertas enfermedades como el cáncer y procesos degenerativos como la enfermedad de Alzheimer.

Aunque todo lo anterior suene aterrador, recuerda que estas sustancias no tienen por qué ser dañinas en sí mismas. Es más, incluso necesitamos la exposición a cierta cantidad de radicales libres para mantener la salud, ya que actúan como mensajeros químicos que estimulan respuestas regenerativas a nivel celular. Este proceso por el cual las ROS fisiológicas están involucradas en la homeostasis celular y la señalización se ha denominado **«eustrés oxidativo»** y no es más

que otra muestra de hormesis. En cantidades pequeñas, ayudan al cuerpo a entrenarse frente a amenazas.

Buena muestra de eustrés oxidativo es el **ejercicio físico**. Cuando exigimos esfuerzo a nuestra musculatura, elevamos su metabolismo y, por lo tanto, la producción de radicales libres. Éstos estimularán la biogénesis mitocondrial (mitohormesis) y servirán de estímulo en las células musculares para que crezcan en número y tamaño y en los vasos sanguíneos para que generen una red mayor (lo que se conoce como «angiogénesis») que nos surta de nutrientes de forma más eficiente.

Necesitamos cierto grado de eustrés oxidativo para que el ejercicio físico mejore nuestra salud. Por eso no es buena idea tomar antioxidantes como la vitamina C después de entrenar o estimular su producción con un baño de agua helada (una ducha fría no sería problemática), ya que reducimos el crecimiento postraumático. Otra cosa distinta ocurriría en un deportista que está en competición cuyo objetivo ya no es mejorar su condición física, sino recuperarse antes o después de un partido. En ese caso, tomar vitamina C (1-3 g) o meterse en un baño de agua con hielo sí que sería una buena idea.

¿Cuándo son peligrosos los radicales libres?

Los radicales libres se convierten en un problema para nuestra salud cuando se producen demasiados y/o fuera de las mitocondrias y, además, no pueden ser eliminados por los **antioxidantes** tras cumplir su función. En estas condiciones, se almacenan en el cuerpo, suponiendo un problema que causa daño a las células.

La mitocondria es el lugar donde se debería producir la práctica totalidad de radicales libres, ya que sus membranas están preparadas para contenerlos y es donde los antioxidantes son más efectivos neutralizándolos. El problema es cuando las mitocondrias empiezan a fallar.

Las mitocondrias disfuncionales generan una mayor cantidad de ROS, que conducen a un aumento del estrés oxidativo que a su vez conduce a una mayor disfunción mitocondrial. Es un círculo vicioso que se retroalimenta. La mala salud de las membranas de las mitocondrias disfuncionales permite la fuga de los radicales libres (recuerda la importancia de las grasas saludables para la salud de la membrana mitocondrial). Además, el fallo de las mitocondrias fuerza a la célula a la glucólisis citoplasmática, lo que genera ROS libres en el líquido celular.

12.2. Antioxidantes al rescate

Sabemos que los radicales libres actúan como bombas de relojería

para los tejidos orgánicos y sabemos que deben ser desactivados por los famosos **antioxidantes**. ¿Cómo hacen éstos para ejercer de artificieros biológicos? Lo logran porque son unas moléculas que pueden donar un electrón a un radical libre sin volverse inestables, de modo que el radical libre se estabilice y se vuelva menos reactivo. La clave está en un equilibrio entre la producción de radicales libres y la generación de un flujo de antioxidantes adecuado.

Los antioxidantes se pueden dividir en dos grandes grupos según su procedencia. Por un lado, están los que ingerimos en la dieta (exógenos) y, por otro, los que produce nuestro organismo (endógenos).

Antioxidantes exógenos

La comida es mucho más que la suma de las calorías que contiene. Pensar en la alimentación como una especie de puzle en el que encajar nuestras necesidades de proteína, grasa y carbohidratos, sin importarnos de dónde proceden, es un error que a la larga mermará la salud de cualquiera. 100 kcal de patatas fritas nunca serán iguales que 100 kcal de una crema de verduras variadas, ya que hay algo que se nos escapa de la ecuación: los micronutrientes.

Los micronutrientes o, lo que es lo mismo, las vitaminas, los minerales y los principios activos presentes en los alimentos, no aportan calorías pero suman vida. Sin ellos, tu cuerpo no puede funcionar de una manera correcta, así que tenemos que asegurarnos de aportarlos en cantidades compatibles con la vida que merecemos.

Dentro de las innumerables funciones de los micronutrientes está la de ser capaces de actuar como antioxidantes. Entre las vitaminas y los minerales con mayor poder antioxidante se encuentran el selenio y la vitamina A (que ya mencionamos cuando te hablé de la tiroides), además de la vitamina C y la vitamina E.

- **Vitamina C**. Presente en vegetales como pimientos, kale o brócoli y en frutas como el kiwi, los cítricos (naranja, pomelo y limón), la guayaba o las fresas.
- **Vitamina E**. Presente en el aceite de oliva virgen extra, el aguacate, las semillas de calabaza, el sésamo y los piñones; en frutos secos como **avellanas** y **almendras**, además de en **verduras de hojas verdes** como las espinacas, las acelgas, las hojas de mostaza y el brócoli.

Cómete el arcoíris

El otro gran grupo de antioxidantes presentes en los alimentos son los **fitoquímicos**, unas sustancias bioactivas que se encuentran en el color

de los alimentos de origen vegetal como frutas, verduras, frutos secos, semillas, especias y hierbas aromáticas.

Cada color representa una familia diferente de compuestos curativos. Dado que trabajan en sinergia, potencian y complementan sus beneficios entre ellos. Lo ideal es que trates de comer verduras y fruta de todos los colores del arcoíris: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, morado y blanco.

¿Te faltan ideas? No te preocupes, que yo te lo pondré fácil. Aquí te dejo una lista de alimentos que ocupan todo el espectro de fitoquímicos.

Rojo

- **Alimentos**: remolacha, rábano, tomate, pimiento rojo, manzanas, fresas, granada, frambuesa, cereza, rooibos.
- **Beneficios para la salud**: anticáncer, antiinflamatorio, protección celular, intestinales, cardiovasculares, hormonales, hepáticos.

Naranja

- **Alimentos**: calabaza, zanahoria, boniato, mango, papaya, nectarina, naranja, cantalupo, melocotón, raíz de cúrcuma.
- **Beneficios para la salud:** anticáncer, antiinflamatorio, protección celular, intestinales, cardiovasculares, hormonales, hepáticos.

Amarillo

- **Alimentos:** manzana, limón, pimiento amarillo, piña, kiwi amarillo, plátano, calabaza amarilla, jengibre.
- **Beneficios para la salud:** anticáncer, antiinflamatorio, protección celular, cognitivos, cardiovasculares, para la piel.

Verde

- **Alimentos**: espárrago, aguacate, brócoli, coles de Bruselas, col, apio, pimiento verde, pepino, kale, lechuga, calabacín, verduras de hojas verdes, (rúcula, espinaca, canónigo, berros...), aceitunas, guisante, manzana verde, edamame.
- **Beneficios para la salud**: anticáncer, antiinflamatorio, protección celular, cerebrales, intestinales, cardiovasculares, hormonales, hepáticos.

Azul/morado

- **Alimentos:** arándanos, moras, uvas, ciruelas, berenjenas, versiones moradas de patata y boniato, col, zanahorias, coliflor.
- **Beneficios para la salud**: anticáncer, antiinflamatorio, protección celular, cognitivos, cardiovasculares, hepáticos.

Blanco/tostado

- **Alimentos:** cacao, coco, café, ajo, hummus, cebolla, cebolleta, chucrut, puerro, setas, coliflor, frutos secos, semillas, tahini, legumbres.
- **Beneficios para la salud:** anticáncer, antimicrobiana, protección celular, intestinales, cardiovasculares, hormonales, hepáticos.

Para potenciar la salud de tus mitocondrias, deberás aportarles al menos dos raciones diarias de verduras (unos 400 g) y de una a tres piezas de fruta (de 100 a 300 g). Trata de comer cincuenta plantas diferentes por semana, incluyendo frutas y verduras, sin olvidar las especias y las infusiones. Utilizar muchas hierbas y especias variadas amplía enormemente el espectro de fitoquímicos.

El valor ORAC

El valor **ORAC** (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) mide la capacidad de absorción de radicales de oxígeno de un determinado alimento. El método de evaluación de los valores ORAC se consigue a través de complicados sistemas de fluorescencia que son capaces de medir exactamente la capacidad de una molécula.

Según diversos estudios, entre los alimentos con mayor valor ORAC se hallan:

- Especias y hierbas aromáticas: cúrcuma, jengibre, té verde, romero, tomillo, salvia, orégano, canela y el clavo de olor
- Frutas: frutos del bosque (en especial los arándanos), la granada y las manzanas
- El aceite de oliva virgen extra
- El cacao puro
- Verduras: alcachofas, brócoli, zanahorias, col lombarda y cebolla morada
- Frutos secos: nueces pecanas, avellanas y pistachos

Antioxidantes endógenos

Dentro de los antioxidantes que produce nuestro organismo, los más relevantes para la salud de nuestras mitocondrias serán los antioxidantes enzimáticos, la melatonina, la coenzima Q10 y el glutatión. A este último, debido a su importancia, vamos a darle todo un apartado dentro del capítulo, pero, antes de eso, conoceremos a la melatonina y la coenzima Q10.

Melatonina

En la melatonina volveremos a incidir cuando te explique por qué somos hijos de las estrellas, pero no podemos no mencionarla si hablamos de cómo combatir el estrés oxidativo.

Seguro que la palabra melatonina te suena mucho y casi seguro que la relacionas con el sueño. No te falta razón. La melatonina que producimos por la noche en el cerebro es una de las responsables de que disfrutes de un sueño placentero y reparador. Pero la melatonina es mucho más que eso. De hecho, las mitocondrias pueden generar pequeñas cantidades de melatonina diurna (sobre todo, cuando estamos expuestos a la luz del sol) para reducir su estrés oxidativo.

La melatonina es el antioxidante más potente de la naturaleza.

Resulta especialmente efectiva para eliminar los radicales libres mitocondriales, además de servir para restaurar la homeostasis del calcio mitocondrial, aumentar la función de PGC1α y de los mecanismos de fusión, generando mitocondrias más grandes y funcionales. También activa la función de las sirtuinas (SIRT3) mitocondriales y tiene potentes efectos antiinflamatorios y analgésicos.

Existen estudios muy interesantes sobre los beneficios de la suplementación con melatonina para mejorar el dolor crónico en pacientes con patologías como la fibromialgia o la artritis reumatoide. Tomada antes de irse a la cama, alivia el dolor y la inflamación, así como el estrés oxidativo. Para que sea efectiva se necesitan dosis de 6 mg diarios durante al menos tres meses consecutivos.

La suplementación con melatonina es tan segura y efectiva que, dado que su producción tiende a reducirse con la edad, muchos científicos recomiendan tomarla de manera rutinaria cada noche a partir de los cincuenta años. Uno de ellos es mi amigo Miguel Toribio Mateas, neurocientífico clínico, microbiólogo aplicado y profesor de Microbioma Intestinal y Salud Mental en la Universidad South Bank de Londres (LSBU). Miguel recomienda una dosis diaria de 2 a 5 mg de melatonina antes de ir a dormir.

¿Eres reacio a las pastillas? No te preocupes. Dado que la melatonina es una sustancia que producen todos los seres vivos, puedes encontrarla en buenas cantidades en algunos alimentos como el pescado y el huevo. Pero, sin duda, las concentraciones más altas de melatonina las encontrarás en alimentos de origen vegetal

(fitomelatonina) como las almendras, los kiwis, los champiñones, las bayas, las cerezas y los pepinos.

Sin duda, **los pistachos** son los que más destacan por sus altos niveles de melatonina. Un puñado (30 g) de pistachos sin cáscara contiene 6 mg de melatonina, una cantidad comparable a la de cualquier suplemento. También conviene destacar como grandes fuentes de melatonina las infusiones de **tanaceto (***Tanacetum parthenium L***)** también conocida como **«matricaria»** o «hierba de Santa María». Esta hierba se ha estudiado mucho para la prevención de las jaquecas y las migrañas.

Coenzima Q10 (CoQ10)

La **CoQ10** es una molécula vital para la salud mitocondrial, que ya vimos en el capítulo 7 como componente esencial de la cadena de transporte de electrones y potente antioxidante. Es sinónimo de más energía con menos radicales libres y mejora la función mitocondrial reduciendo los riesgos para la salud asociados a unas mitocondrias ineficientes.

Funciona muy bien en consonancia con el magnesio, la ribosa y la creatina. Pero hay otra sustancia muy amiga de la CoQ10, el **ácido alfa lipoico**. Éste es otro antioxidante producido por nuestro organismo, especialmente relevante para frenar el deterioro oxidativo del sistema nervioso, el hígado y corazón.

La síntesis de CoQ10 va disminuyendo a medida que envejecemos, por lo que debemos obtenerla de la alimentación. Aquí nos encontramos con un problema, ya que las vísceras, los alimentos que contienen más CoQ10 y ácido alfa lipoico, cada vez se consumen menos. Sabemos que la mayoría de CoQ10 se concentra en las mitocondrias del corazón y del hígado, por eso es en estos alimentos donde más la encontraremos.

Una buena opción para comer hígado son los patés caseros de hígado de vaca o de higaditos de pollo (ambas opciones siempre de animales «felices» que vivan en libertad y coman saludable). Huye de los patés comerciales, ya que contienen más carne y grasa que hígado, además de tantas otras cosas como las que indica la composición que copio literalmente de una conocida marca: «Harinas de arroz, estabilizantes (tripolifosfato sódico, carragenanos), potenciador del sabor (glutamato de sodio), azúcar, especias, aromas y conservador (nitrito sódico)». Casi nada.

Otra muy buena alternativa es el hígado de bacalao ahumado, que además tiene la ventaja de que no necesita ser cocinado, lo que evita que la cocción destruya parte de la CoQ10 y del ácido lipoico.

Seguro que te estás preguntando si es una buena idea suplementar con CoQ10. Si tienes más de cincuenta años, el momento a partir del

cual se produce el mayor declive en su producción, y/o alguna patología crónica relacionada con la disfunción mitocondrial, sin duda es una idea que tener en cuenta. También lo es si además tomas estatinas, una medicación para el colesterol que reduce la producción de CoQ10.

La dosis estándar de suplemento de CoQ10 es de 100 a 300 mg al día.

Como último dato, es útil que conozcas que también existe otra molécula de la familia de la coenzima Q10 con funciones similares, la pirroloquinolina quinona conocida como «PQQ».

12.3. El papel de nrf2

Junto con la melatonina y la CoQ10, el gran responsable de la protección antioxidante de nuestro organismo es nuestro viejo amigo ***Nuclear Respiratory Factor 2*** **(Nrf2)**, cuya actividad se ve aumentada por la melatonina y la CoQ10. Si recuerdas de lo que leíste en el capítulo 3, Nrf2 desempeña una función vital en el proceso de biogénesis mitocondrial, pero sus tareas no se detienen ahí.

Conocido en la literatura científica como el «regulador maestro de la expresión de genes de antioxidantes, desintoxicación y defensa celular», Nrf2 es un **factor de transcripción o transcriptasa**, que, una vez activado por ciertos estresores, es capaz de migrar al núcleo de la célula y decodificar el ADN activando la síntesis de unas enzimas con gran actividad antioxidante, antiinflamatoria y también desintoxicante. Entre estas enzimas prodigiosas se encuentran la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), la quinona oxidoreductasa 1 (NQO1) y, quizá las más importantes para las mitocondrias, las dependientes de glutatión como glutatión S-transferasa (GST), glutatión peroxidasa (GPX) y la glutatión reductasa (GSH).

Estímulos activadores de Nrf2

La vía Nrf2 se activa en nuestro cuerpo al exponernos a los estresores evolutivos con los que llevamos cientos de miles de años enfrentándonos y que retan a nuestra genética estimulando la producción de antioxidantes para hacerles frente o, lo que es lo mismo..., otra vez la hormesis.

El problema que ya hemos identificado es que los peligros modernos producen ingentes cantidades de radicales libres, pero no

estimulan la producción de antioxidantes propios. Si a esto le sumamos el sueño de mala calidad (falta de melatonina), la mala función mitocondrial (CoQ10 deficiente) y una dieta pobre en vitaminas, minerales y fitoquímicos, tenemos el terreno perfecto para que el estrés oxidativo se convierta en un gran problema.

¿Nunca te has parado a pensar por qué una planta produce fitoquímicos tan beneficiosos para nosotros? La explicación es muy sencilla: las plantas producen los fitoquímicos como mecanismo de defensa celular ante condiciones de estrés como el frío, el calor, la sequía o el ataque de parásitos. Por ejemplo, el contenido en fitoquímicos del aceite de oliva aumenta cuanto más seco es el clima; en el café y en el té ocurre lo mismo con la altura, y las plantas aromáticas como el romero mejoran cuanto más frío es el clima.

Los fitoquímicos que activan Nrf2 en las plantas también lo hacen en nosotros. Una vez ingeridos, activan las mismas vías protectoras en nosotros. Pero no todos los fitoquímicos activan Nrf2 de la misma manera. Los más efectivos y con mayores beneficios mitocondriales son:

- La **quercetina**, de la que hablamos largo y tendido.
- Los **alilsulfuros** (principalmente la **alicina**) presentes en toda la familia *Allium*, compuesta principalmente por cebolla, puerro, ajo, cebolleta y cebollino.
- Los **estilbenos** presentes en las frutas del bosque como arándanos, moras, frambuesas y grosellas y en la uva morada, la granada y el cacao. Un estilbeno muy poderoso es el resveratrol, un gran activador de Nrf2 del que hablaremos más adelante debido a su capacidad de activar las sirtuinas.
- La **curcumina** presente en las raíces de cúrcuma.
- Los **ginsenósidos** presentes en las raíces de jengibre.
- La **naringenina** presente en las pieles de los cítricos, incluso si están secadas. Las infusiones de corteza de mandarina, naranja o limón son muy recomendables.
- Quizá el mayor activador de Nrf2 sea el **sulforafano** presente en la familia *Brassica* (verduras crucíferas) formada por coles como el brócoli, la coliflor, el repollo, la lombarda, las coles de Bruselas... Pero sobre el sulforafano (y cómo activarlo) nos extenderemos a continuación.
- Las **catequinas** presentes en el chocolate negro, el café y, sobre todo, el té verde. De esta bebida milenaria y elixir para tus mitocondrias vamos a hablar ahora.

Té verde

El té verde contiene una variedad tal de compuestos saludables que la convierten en una bebida medicinal. Es muy rico en unos principios activos denominados catequinas, cuyo principal exponente es la poderosa **epigalocatequina-3-galata** (EGCG), un compuesto altamente antiinflamatorio, antioxidante y activador mitocondrial.

Entre los múltiples beneficios del té verde para la salud destaca su capacidad para mejorar la salud de nuestro cerebro. El té verde hace mucho más por nosotros que simplemente mantenernos activos y despejados. Es capaz de llevar nuestro cerebro a otro nivel.

Aunque el té verde contiene menos cafeína que el café, tiene la suficiente para mejorar nuestra capacidad de atención, aumentando la dopamina y la noradrenalina cerebral, y para activar nuestras mitocondrias. Sin embargo, la cafeína no es el único activador cerebral del té verde, pues esta milenaria bebida es también rica en el aminoácido **L-teanina**.

La L-teanina es un aminoácido derivado de la glutamina exclusivo del té verde, con unas propiedades que lo convierten en molécula única. Es capaz de elevar a la vez tanto el neurotransmisor GABA, que induce tranquilidad y calma mental, como la dopamina que induce concentración, foco y motivación. Si te parece que tiene los mismos efectos a nivel cerebral que la meditación, no vas descaminado porque, según los estudios, la L-teanina estimula la producción de ondas alfa cerebrales, las mismas que aparecen en el cerebro cuando meditamos.

Los efectos del té verde sobre el cerebro son casi inmediatos. Según un estudio en el que se examinó el cerebro de personas que habían bebido 200 ml de té verde con la técnica de resonancia magnética funcional, la conectividad cerebral mejoró tras la ingestión de esta bebida milenaria. Otro estudio de seguimiento de más de cuarenta mil japoneses durante más de diez años concluyó que aquellas personas que bebían cinco o más tazas de té verde al día vivían más que las que no lo hacían. Así de rotundo. Podríamos decir que el té verde es la bebida de la longevidad.

Por ponerle una pega, a nivel intestinal tenemos dificultad para absorber la EGCG. Pero no te preocupes, tenemos estrategias para mejorar su absorción.

- Añadir un poco de limón al té verde. Esto es debido a que el ácido cítrico del limón mejora la asimilación de los polifenoles de otros alimentos, como la EGCG del té verde.
- Si añades un poco de pimienta a tu infusión, mejorarás su absorción además de activar sus propiedades saludables. Esto es posible gracias a la piperina, el principio activo de la pimienta

negra.
- También puedes añadirle otras especias como la canela, el cardamomo y la cúrcuma. Ésta última es muy interesante, ya que el té verde y la cúrcuma potencian tanto sus efectos beneficiosos como su absorción entre sí.

¿Qué me dices? ¿Te apuntas a un té verde con un poco de cúrcuma, canela, pimienta y cardamomo? Si puedes elegir variedades, te conviene saber que, según varios estudios, dos tipos de té verde japonés, el **matcha** y el **sencha**, son los que más beneficios aportan a las mitocondrias.

12.4. Glutatión, el antioxidante maestro

Ahora que ya conocemos la vía Nrf2, es momento de indagar en lo mejor que este factor de transcripción puede hacer por nosotros: activar la producción de glutatión. Si los radicales libres tienen una «kryptonita», además de la melatonina, ésta es sin duda el glutatión, **la estrella de las moléculas reguladas por la vía Nrf2**. Es uno de los antioxidantes endógenos más potentes, con capacidad de proteger a nuestras mitocondrias del estrés oxidativo, en especial las de nuestro cerebro, además de ser una sustancia clave para la desintoxicación corporal, la metabólica y la regulación de la inflamación.

El glutatión es imprescindible para la desintoxicación hepática de compuestos altamente dañinos para nuestras mitocondrias, como las aminas heterocíclicas, el benceno, la acroleína, los pesticidas... Es, en esencia, el gran protector de la mitocondria: sin él, nuestras viejas amigas están abocadas a la muerte. Y no a una muerte digna tras una vida plena (apoptosis), sino más bien a un penoso proceso de lenta destrucción (necrosis) tras haber transitado como zombis.

Materia prima

La materia prima para generar glutatión son principalmente los aminoácidos cisteína (en forma de NAC) y glicina. Según multitud de estudios, aportar estos nutrientes en la dieta eleva los niveles de glutatión en nuestro organismo.

La N-acetilcisteína o NAC es una sustancia producida naturalmente por nuestro organismo a partir del aminoácido cisteína, con una notable capacidad antioxidante, desintoxicante y antiinflamatoria. Tiene un perfil de seguridad bien establecido y su toxicidad, a dosis seguras, es prácticamente nula. Su papel antioxidante y desintoxicante no depende sólo de ser una precursora del glutatión. Por sí misma, la NAC es capaz de reducir la inflamación

de nuestro organismo y activar Nrf2.

Como suplemento, la dosis de NAC sería de 600 mg/día. También puedes encontrarla en alimentos como el ajo, la cebolla, los espárragos, los aguacates, el brócoli o la coliflor.

Por su parte, la glicina es un aminoácido que, además de ser necesario para la síntesis de glutatión, es imprescindible, entre otras cosas, para la síntesis del colágeno que mantiene saludables nuestro sistema musculoesquelético y la piel. Además, tiene un efecto calmante que ayuda a mejorar la calidad del sueño y el descanso. Todas estas propiedades la convierten en una de mis sustancias favoritas.

Una dosis razonable de glicina como suplemento sería de unos 3 g tomada antes de dormir. Tiene un sabor dulce, pero no aporta calorías, por lo que es ideal para usarla en una infusión relajante antes de irnos a la cama. Como dato curioso, el término glicina significa literalmente «sustancia dulce», proviene del griego *glykís* ('dulce'), más el sufijo «-ina», muy utilizado en ciencia para dar nombre a muchas sustancias, por ejemplo, «penicilina» o «morfina».

Si bien nuestro cuerpo puede generar glicina, no producimos tanta como necesitamos, por lo que dependemos de una ingesta adecuada. Pero este aminoácido sólo lo encontrarás en un grupo de alimentos que consumimos muy poco, todos los ricos en colágeno como los huesos (de ahí que un caldito caliente nos haga dormir mejor) y las vísceras. Por eso la deficiencia de glicina es muy común entre la población.

NAC y glicina: combinados, mejor

Según ensayos clínicos muy recientes, la combinación perfecta para elevar el glutatión es la formada por glicina y NAC. Esta mezcla ha sido bautizada por la comunidad científica como «GlyNAC».

En estudios en ratones, la suplementación con GlyNAC aportó grandes mejoras en el estrés oxidativo, los niveles de glutatión y la función mitocondrial. Todo ello trajo como consecuencia el aumento de **su longevidad en nada menos que un 24 por ciento**.

Lo mejor de todo es que también contamos con resultados de ensayos en personas. En el desarrollado por investigadores de la Universidad de Baylor, la suplementación durante dieciséis semanas con este combo GlyNAC en personas de edad avanzada mejoraba el estrés oxidativo y la disfunción mitocondrial, así como otros aspectos moleculares relacionados con el envejecimiento, como la mitofagia, la inflamación, la resistencia a la insulina, la disfunción endotelial, el daño genómico, la senescencia celular y la fatiga de las células madre.

Lo más interesante del estudio es que las mejoras a nivel molecular se traducen en **una mejor calidad de vida**. Las personas

que participaron en el estudio mejoraron su capacidad física tanto a nivel de fuerza muscular como de velocidad al caminar, además de su perímetro de cintura y presión arterial. Cómo es lógico, el grupo que recibió un placebo no registró estas mejoras.

Es posible que te preguntes que, si el glutatión es tan beneficioso para nuestro organismo, por qué no podemos tomarlo directamente. La cuestión es que, hasta hace poco, no se había logrado sintetizar una forma de glutatión que se absorbiera a nivel intestinal, por lo que sólo se podía administrar por vía intravenosa. En la actualidad, gracias al desarrollo del glutatión liposomado, se ha logrado una buena absorción en el intestino.

Sin embargo, según mi forma de ver la salud, creo que resulta más interesante aportar los precursores, como GlyNAC, para que nuestro cuerpo sintetice el glutatión que necesite y así evitamos un exceso del antioxidante de forma directa. Con glicina y NAC damos al organismo las **piezas que necesita** para producir glutatión en las cantidades adecuadas.

Dada su gran importancia, me gustaría compartir contigo algunas estrategias nutricionales para mantener al rey de los antioxidantes endógenos en niveles óptimos. Existen tres grandes fitoquímicos que estimulan la producción de glutatión:

- Sulforafano
- Curcumina
- ECGC del té verde

Sulforafano

El sulforafano es una de las sustancias preferidas de referentes mundiales como el científico de Harvard y experto en longevidad David Sinclair o los profesores de la Universidad Johns Hopkins, el neurocientífico Mark P. Mattson (considerado el «rey del ayuno intermitente») y el bioquímico experto en principios activos de plantas Jed Fahey.

Este compuesto azufrado también conocido como «isotiocianato de 4-metilsulfinilbutilo» es un fitoquímico dietético abundante en las verduras crucíferas (brócoli, col, coliflor, coles de Bruselas, repollo, kale, col lombarda, rúcula, *bok choy*, berros...), especialmente en sus semillas y brotes germinados.

Beneficios del sulforafano

El sulforafano es quizá el fitoquímico con mayor capacidad de activación de Nrf2. De este superpoder vienen la mayoría de los

beneficios para la salud. Es especialmente potente activando la producción de glutatión y de todas sus enzimas dependientes en nuestro organismo, lo que le confiere:

- Un papel esencial en la detoxificación del organismo
- Estimulación de la capacidad antioxidante
- Una potente acción antiinflamatoria

El sulforafano es capaz de activar vías de desintoxicación hepática de compuestos altamente dañinos para nuestras mitocondrias como las aminas heterocíclicas, el benceno o la acroleína. Se han llevado a cabo varios estudios en zonas urbanas de China, donde la contaminación del aire es altísima, en los que se vio que sujetos tratados con sulforafano excretaban de su organismo hasta un 60 por ciento más de benceno y acroleína que los sujetos del grupo de control.

Las verduras crucíferas, gracias al sulforafano, constituyen sin lugar a duda uno de los mejores alimentos cuando se trata de reducir la inflamación de nuestro organismo. En un estudio de 2014 publicado en la *Revista de la Academia de Nutrición y Dietética* se mostró que una mayor ingesta de crucíferas se asoció con una reducción de hasta el 25 por ciento en los marcadores de inflamación entre 1.005 mujeres.

Otras acciones del sulforafano a nivel mitocondrial son:

1. La estimulación la biogénesis mitocondrial
2. La mejora de la salud y la funcionalidad de las membranas mitocondriales
3. La optimización de la capacidad bioenergética de la mitocondria

Activación del sulforafano

En las plantas, el sulforafano no se encuentra como tal, sino como su precursor biológicamente inactivo, la glucorafanina. Para su activación, el sulforafano precisa de una enzima llamada «mirosinasa», también presente en el brócoli. Lo que ocurre es que la glucorafanina y la mirosinasa se almacenan en compartimentos celulares separados. La descomposición de la célula, por ejemplo, al masticar, cortar o calentar, conduce a la liberación de ambos compuestos y, por lo tanto, a la activación del sulforafano.

El corte libera la mirosinasa que está escondida en las células de las crucíferas. Una vez que comienzas a cortar, se libera para hacer su trabajo. Después de cortar las crucíferas, debemos dejarlas reposar al menos entre 10 y 40 minutos. Esto permite que desarrollen más sulforafano antes de ingerirlas o calentarlas.

Para maximizar sus beneficios, la técnica perfecta es la vaporización. En el caso de las brásicas, una cocción prolongada o a

alta temperatura destruye la mirosinasa; sin embargo, una vaporización suave activa la enzima. Es muy importante no pasarse con el tiempo de cocinado, para lo que podemos observar estas reglas:

- Una vaporización de más de 6 minutos inactiva completamente a la enzima hidrolítica mirosinasa.
- Una larga vaporización del brócoli de 30 minutos conlleva una pérdida sustancial de los principios activos (de hasta el 55 por ciento del contenido en sulforafano).
- Una vaporización del brócoli de menos de 6 minutos, sin embargo, aumenta la biodisponibilidad del sulforafano.

Alimentos ricos en mirosinasa

Si no tenemos tiempo de dejar nuestras verduras en reposo, podemos añadir alimentos ricos en mirosinasa. Justo antes de comer, podemos agregar un poco de polvo o aceite de semillas de mostaza (alrededor de ¼ de cucharadita para hasta siete tazas de brócoli o kale) o un poquito de rábano, rábano picante, rúcula o wasabi.

El aceite de mostaza es muy rico en mirosinasa, necesaria para liberar el sulforafano.

Otro gran aliado son los **brotes de brócoli**. Son el resultado de germinar las semillas en unas condiciones determinadas de temperatura, luz y humedad. Contienen hasta cien veces más sulforafano que el brócoli y, además, en los brotes ya se encuentra activado, por lo que podemos comerlos crudos. En ensaladas están deliciosos. Podemos comprarlos en la tienda o hacerlos crecer en casa

Recuerda que, en teoría, cuando se comen crudas, la digestión de las verduras crucíferas en el intestino libera goitrógenos, unas sustancias que captan yodo. Esto implica que podrían interrumpir la producción de hormonas tiroideas, lo que puede aumentar la necesidad de yodo y causar daño a la glándula tiroides. Sin embargo, los estudios de intervención nos dicen que deberíamos tomar una gran cantidad de crucíferas para interferir en la tiroides. Con, por ejemplo, 100 g/día no se produce afectación alguna.

Aun así, si te siguen preocupando los goitrógenos, debes saber que cocinar las crucíferas al vapor lo suficiente descompone los goitrógenos que contienen.

Una última alternativa viene de las hojas de la **moringa** (*Moringa*

oleifera), un árbol conocido como el árbol de la vida, que crece en Asia y África. Son muy ricas en dos sustancias muy beneficiosas para tus mitocondrias, la quercetina (de la que hablaremos más adelante) y la moringina (conocida también como «MIC1»), una sustancia similar a nuestro amigo el sulforafano. Estas hojas puedes encontrarlas en forma de polvo en cualquier ecotienda y añadirlas en zumos, batidos, infusiones...

Según algunos estudios, la moringina podría ser más estable que el sulforafano, lo que la convierte en una mejor candidata para el desarrollo de suplementos terapéuticos para el control de enfermedades crónicas.

12.5. Homocisteína: un tóxico mitocondrial

La homocisteína es uno de esos valores que aparecen reflejados en una analítica sanguínea básica y al que no se le suele prestar mucha atención. Sin embargo, es de los más relevantes para nuestra salud. Nos asusta tener el colesterol o la glucosa elevada, pero la —atención con el nombrecito— hiperhomocisteinemia suele pasar desadvertida.

La homocisteína es un aminoácido que contiene azufre formado durante el metabolismo de la metionina, un aminoácido esencial derivado de las proteínas de la dieta, en particular, de la carne, el músculo del animal. Nuestro organismo tiene que descomponer la homocisteína para producir sustancias que necesitamos en un proceso en el que se necesitan glutatión, glicina, las vitaminas B_{12} y B_6 y el folato.

Si el reciclaje de homocisteína no es posible, se acumulará en nuestro organismo y se comportará como una sustancia muy tóxica.

Según la concentración de homocisteína sanguínea en ayunas podemos hacer la siguiente clasificación:

- Valor ideal: 6-9 µmol/L
- Valor aceptable: $<$15 µmol/L
- Elevación leve: 15-30 µmol/L
- Intermedia: 30-100 µmol/L
- Grave: $>$100 µmol/L

No creas que para que tu salud se vea comprometida debes tener una elevación grave; las elevaciones leves o intermedias de

homocisteína, muy comunes en la población general, ya suponen un factor de riesgo para la salud. Multitud de estudios relacionan la hiperhomocisteinemia con varios trastornos de la salud, incluidas las enfermedades cardiovasculares como la hipertensión y la insuficiencia cardiaca, neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson, renales y hepáticas. En resumen, la homocisteína elevada es tóxica para tu cuerpo, en especial para el corazón, el cerebro, el hígado y los riñones.

Uno de los peligros de la homocisteína elevada es que resulta ser muy tóxica para las mitocondrias, puesto que altera la función de los complejos proteicos de la cadena de transporte de electrones disminuyendo la producción de ATP y aumentando la generación de ROS, que dañarán la mitocondria y, en especial, a su ADN. Además, facilita la fuga de los ROS fuera de mitocondria con el consiguiente peligro para los tejidos.

El aumento en la generación de ROS y el daño mitocondrial provocado aceleran la muerte de las mitocondrias (apoptosis). Las que sobreviven gracias a la fisión quedarán más pequeñitas y menos conectadas o, lo que es lo mismo, menos eficientes. Por si fuera poco, la hiperhomocisteinemia promueve la inflamación crónica del organismo, que también conduce a la disfunción mitocondrial.

Si la elevación de la homocisteína es tan peligrosa, ¿por qué nuestro cuerpo la permite? La respuesta es sencilla: porque carece de las herramientas para reciclarla. Para evitar poner al organismo en una situación de la que no puede defenderse, deben evitarse los factores que elevan la homocisteína:

- Un exceso de ingesta de metionina
- Deficiencia de glutatión, glicina, vitaminas B_6 y B_{12} y folato

Sobre cómo elevar los niveles de glutatión ya sabes lo necesario, así que vamos a por todo lo demás.

Ratio metionina/glicina

Unos niveles de homocisteína adecuados dependerán en buena medida del correcto balance entre estos dos aminoácidos. El problema es que en la sociedad moderna tendemos a ingerir en exceso la metionina, mientras apenas comemos alimentos ricos en glicina. La metionina se encuentra principalmente en la carne de los animales, especialmente en la carne roja, mientras que la glicina es el componente mayoritario del colágeno y, como tal, la encontraremos en los huesos, las articulaciones y en las vísceras de los animales.

La importancia de una dieta rica en glicina tiene todo el sentido

desde una perspectiva evolutiva. Si bien cuando pensamos en los primeros humanos tendemos a imaginárnoslos cazando grandes venados y mamuts, la verdad es que esta imagen corresponde más al terreno de la mitología que a la realidad. Los primeros humanos raramente se jugaban la vida con la caza mayor. Preferían la seguridad de recolectar plantas, capturar insectos, la caza menor y la carroña que dejaban atrás los grandes y poderosos carnívoros.

Una de las bases de nuestra alimentación en los albores de nuestra especie fueron **los huesos**, un alimento altamente nutritivo y tan fácil de conseguir que sólo se requería de paciencia. El hueso era lo que normalmente quedaba después del festín de los grandes predadores. Tras la espera, simplemente teníamos que romper y cocinar los huesos para alimentarnos de su nutritiva médula, rica en colágeno y grasa. Esta alta ingesta de colágeno y, por lo tanto, de glicina, se quedó grabada a fuego en nuestros genes que hoy reclaman su antiguo botín. Privarlos de él supone comprometer nuestra salud.

En un alarde de opulencia, la vida moderna llenó los refrigeradores del supermercado con bandejas llenas de músculos perfectamente cortados y limpios. En la actualidad, desperdiciamos la mayor parte del animal que dio su vida para que nos alimentásemos de él.

Como ya sé que suele resultar difícil, aquí te comparto algunas ideas para que aumentes la ingesta de colágeno:

- **Mezcla un poco de vísceras con carne** y pícalo todo para hacer unas superhamburguesas.
- **Recupera guisos tradicionales**: manitas de cerdo, callos, lengua estofada...
- **Caldos de pescado y caldos de huesos** (pollo, ternera, cerdo...) cocinados a fuego lento (lo ideal son 12 horas) para extraer todos los nutrientes del hueso.
- **Come gelatina**. Pero ten cuidado al comprarla, debe ser pura. Aquí la industria intentará engañarte con postres gelificados que son esencialmente agua, espesantes y azúcar/ edulcorantes. Si una gelatina no tiene proteína en su composición, no es gelatina.

Otra sustancia muy interesante para reducir la homocisteína es la **betaína**, un derivado del aminoácido glicina que, de hecho, también se conoce como trimetilglicina o TMG. Esta sustancia la encontrarás en los arándanos, las verduras de hoja verde y, sobre todo, en la remolacha.

Deficiencias de vitaminas B_{12}, B_6 y folato

Como ya hemos mencionado, para que nuestro cuerpo pueda reciclar la homocisteína son esenciales tanto la vitamina B_{12} como el ácido folato y la B_6. Ante una carencia de una o más de estas sustancias, los niveles de homocisteína se pueden elevar en tu organismo y comprometer nuestra salud.

¿Cómo sabemos si existe alguna deficiencia? Lo ideal sería poder comprobarlo en una analítica sanguínea, para la que te dejo los valores en la tabla inferior. Si tu dieta es baja en los alimentos que contienen estos nutrientes y tienes unos niveles de homocisteína elevados..., ya estás tardando en incorporarlos en tu alimentación cotidiana.

		VALOR DE REFERENCIA		
Vitamina B_6		1,3-27 ng/ml		
Vitamina B_{12}		270-970 pg/ml		
Folato		3-20 ng/ml		

Fuente: Elaboración propia.

- **Fuentes nutricionales de vitamina B_6**: principalmente, el pescado y el hígado (de ternera, pollo, bacalao...). También la encontramos en el pavo y el pollo y, en menor cantidad, en la patata, las frutas no cítricas y los frutos secos.
- **Fuentes nutricionales de vitamina B_{12}**: sólo está presente en alimentos de origen animal. Los alimentos de origen vegetal no contienen B_{12} excepto si han sido fortificados. La encontramos en el hígado, el pescado, la carne, los lácteos y los huevos.
- **Fuentes nutricionales de folato**: vegetales de hoja verde oscura (sobre todo, las espinacas), el hígado, los espárragos, las coles de Bruselas y los guisantes. En menor cantidad la obtenemos de carne, pescado, frutos secos, huevos, lácteos y cereales.

Como ves, dado que el hígado es el reservorio de estas sustancias tan valiosas, es una excelente fuente de B_6, B_{12} y folato. Pero existe otra... y además vegana. Te presento la **levadura nutricional**. Aunque su valor alimenticio no sea tan elevado como el del hígado, la levadura nutricional es toda una joya para tu salud. En esencia, es una levadura llamada *Saccharomyces cerevisiae*, secada, inactivada (es decir, muerta) y molida hasta obtener un polvo muy fino.

La levadura nutricional es una buena fuente de **proteínas, vitaminas del grupo B** (excepto la vitamina B_{12}, pero suele venir fortificada con ella) y también de **minerales** como zinc, calcio, cobre, cromo, hierro, fósforo, potasio o magnesio. Además, es muy rica en unas sustancias muy beneficiosas para la salud conocidas como **«manoproteínas»** y **«beta-glucanos»**, que tienen propiedades antinflamatorias y de mejora de la microbiota intestinal. Ambas repercutirán de una manera muy positiva en tu bienestar y en el de tus mitocondrias.

Puedes tomar **entre dos y tres cucharadas soperas al día**, añadidas a ensaladas y sopas, o como sustituto del queso. Lo mejor de todo es que aporta un sabor muy rico, así que no será ningún esfuerzo enriquecer tu dieta con ella.

Espera, ¿se dice folato o ácido fólico?

El ácido fólico y el folato son las dos caras de una misma moneda, la vitamina B_9. El **folato** es la vitamina B_9 que se encuentra de forma **natural** en los alimentos de origen vegetal, mientras que el **ácido fólico** es un folato **artificial**, una forma sintética que se añade a determinados suplementos o alimentos y que no tiene nada que ver en cuanto a beneficios para la salud.

Si necesitas suplementarte, evita el ácido fólico y opta por la forma de metilfolato.

La parte «metil» es importante porque, en los animales, el folato, para ser activo, necesita metilarse, lo que significa que debe añadir a su estructura un grupo metilo -CH3. Como ya te imaginarás, el único alimento rico en metilfolato es el hígado.

Para metilar el folato necesitamos la acción de una enzima llamada «5 metilentetrahidrofolato reductasa (5-MTHFR)» codificada por el gen MTHFR. Este gen es también conocido como gen «MoTHerFuckeR» (¡no me pidas que te lo traduzca!) debido al elevado número de alteraciones (polimorfismos) de este gen que presenta la población mundial, más del 40 por ciento.

Dependiendo de la variante del MTHFR que poseas, puede que todo sea normal o que la capacidad de función del gen esté reducida en un 40 por ciento, en un 70 por ciento e incluso en un 90 por ciento. Por supuesto, lo ideal para salir de dudas es hacer la prueba genética, pero esto no está al alcance de todas las personas, aunque cada vez son más accesibles (en España puedes encontrarlo por menos de 100

euros). Si no logras reducir tus niveles de homocisteína, te encuentras siempre cansado y/o tienes baja tolerancia al ejercicio, quizá sería aconsejable suplementar con **metilfolato**. En realidad, en muchas ocasiones es muy recomendable suplementar con un complejo de vitaminas del grupo B, pero para extendernos en estas *vitaminas*, ya tendremos el capítulo 17.

Cuarta parte

MÁS RECURSOS PARA OPTIMIZAR TUS MITOCONDRIAS

13

Recuperar la flexibilidad metabólica

La salud es flexibilidad. Igual que una mente rígida es sinónimo de sufrimiento e insatisfacción y un cuerpo rígido lo es de dolor y torpeza, un metabolismo rígido significa falta de energía y, por lo tanto, menor cantidad y calidad de vida.

Si la grasa es el mejor combustible, ¿por qué a muchas personas les cuesta tanto quemarla? Les ocurre porque viven a costa de la glucosa y, cuando ésta baja ligeramente en sangre, su organismo protesta mareándose. Su metabolismo prefiere tirar de aminoácidos robados al músculo para convertirlos en glucosa, y del hambre voraz antes que usar la grasa que muy a menudo tienen almacenada en exceso. Conviven con la triste paradoja de tener energía almacenada a la que no pueden acceder: tienen a su disposición una despensa llena de los mejores ingredientes, pero, antes que pasar por el trámite de cocinarlos, acaban saciándose con bollería de la tienda de la esquina.

Esto es lo que se conoce como tener un metabolismo rígido y esta condición no se solventa con dieta estricta y ejercicio. La solución pasa por SANAR el metabolismo para recuperar la ansiada flexibilidad metabólica.

¿A qué nos referimos entonces con «flexibilidad metabólica»? A la capacidad de utilizar el sustrato energético óptimo para cada situación, de recuperar el acceso a esa despensa de grasas que se había vuelto inaccesible. Deberíamos ser capaces de utilizar la grasa o la glucosa como combustible principal y poder cambiar rápidamente entre ellas según la necesidad. Para que lo veas más claro, volveremos a usar el ejemplo del autobús. Si vas caminando tranquilamente hacia la parada, lo ideal es que tus mitocondrias estén quemando grasa, pero si ves que el bus se te va a escapar y necesitas pegarte una carrera, tendrás que cambiar rápidamente de combustible y usar glucosa para que te dé ese extra de potencia.

En el pasado, nuestra especie tuvo que desarrollar una increíble flexibilidad metabólica. Podíamos pasar de pegarnos un atracón de miel (azúcar) a alimentarnos a base de mejillones (proteína y grasa) en la costa sin ningún problema, porque nuestras mitocondrias eran perfectamente eficientes usando cualquiera que fuera el combustible disponible. Pero también eran capaces, llevadas por la necesidad al no encontrar alimento, de usar nuestras reservas energéticas si teníamos la tripa vacía. Una persona con buena flexibilidad metabólica tiene más facilidad para usar sus reservas de grasa corporal como

combustible y posee un mayor rendimiento físico incluso en condiciones de ayuno.

Sin embargo, cada vez más personas padecen lo que se conoce como rigidez o inflexibilidad metabólica, un estado disfuncional que se asocia con la obesidad, resistencia a la insulina, hipertensión, hígado graso, dislipidemia e intolerancia a la glucosa. Una constelación de comorbilidades englobadas bajo el paraguas del término «síndrome metabólico».

La vida moderna, con su particular estilo de vida y alimentación, ha empujado a nuestro metabolismo hacia la inflexibilidad y, con ello, a la diabetes, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares.

Un apunte: la flexibilidad metabólica no es un concepto abstracto. Se puede medir con un método conocido como «calorimetría indirecta». En España, uno de los referentes de este método de medición y de la nutrición enfocada a mejorar la salud mitocondrial es Sergio Gómez, nutricionista de la clínica Innumed.

13.1. Modo tripa llena versus modo tripa vacía

Modo tripa llena o fase posprandial

Después de comer y aproximadamente durante las 4 horas siguientes, nuestro organismo entra en un estado conocido como «absortivo» o «fase posprandial». En otras palabras, en modo tripa llena marcado por la absorción de los nutrientes hacia las reservas y por su uso mientras tanto como combustible.

La glucosa proveniente de los carbohidratos como fruta, miel, tubérculos o cereales se usará como combustible. La que no necesitamos al momento la almacenaremos en forma de glucógeno (glucogenogénesis), que en el organismo se guarda a nivel hepático si está al servicio del organismo y muscular si es exclusivo para el músculo. Nuestras reservas de glucógeno no son muy altas (de 400 a 500 g) y, cuando se excede dicha capacidad, el exceso de glucosa en la dieta se convertirá en grasa. Este proceso se conoce como «lipogénesis de novo». Cuando hablamos de reservas de grasas..., aquí no hay límites de almacenaje.

La grasa de la dieta (de los aceites, los frutos secos y la grasa animal) también puede usarse como combustible o almacenarse en las reservas en caso de no ser necesaria.

Modo tripa vacía o fase postabsortiva

Una vez concluye el modo tripa llena, nuestras mitocondrias ya no cuentan con el combustible procedente de la comida, por lo que se inicia el modo tripa vacía o fase postabsortiva, en el que tenemos que usar las reservas hasta la siguiente comida.

El modo tripa vacía es el que quizá mejor refleja el grado de flexibilidad metabólica de cada persona. Nuestras mitocondrias tendrán que elegir entre tirar de glucógeno o de reservas de grasa y aquí lo ideal es que decidan obtener casi toda la energía necesaria a partir de la grasa almacenada, reservando el glucógeno para esfuerzos puntuales de alta intensidad.

mTOR/AMPK

El período de absorción de alimentos se caracteriza por ser un estado anabólico (mTOR), marcado por el aumento de la síntesis de triglicéridos, glucógeno y proteínas, a diferencia del catabolismo (AMPK) que predomina en el modo tripa vacía. Recuerda que puedes repasar estos conceptos en el capítulo 6.

Metabolismo flexible versus rígido

Ya hemos dejado claro que un metabolismo flexible tendrá más capacidad de elegir la fuente de energía que prefiera, mientras que uno rígido vive a costa de la glucosa. Vamos a explorar cómo se comporta cada uno ante distintas situaciones.

Después de una comida rica en carbohidratos:

- Flexible: La glucosa entra rápidamente en la célula, por lo que las mitocondrias queman más glucosa y la que no se utiliza se almacena rápidamente en el músculo y en el hígado, evitando una elevación excesiva del azúcar en sangre.
- Rígido: A la glucosa le cuesta mucho entrar en la célula y permanece más tiempo en la sangre, generando picos muy elevados que, al no poder almacenarse en su totalidad en glucógeno, se convertirán en grasa que aumentará nuestras reservas.

Después de una comida rica en grasas:

- Flexible: Las mitocondrias maximizan el uso de grasa como

energía, minimizando la grasa almacenada y conservando intacto el glucógeno.
- Rígido: Las mitocondrias son incapaces de usar la grasa como combustible, por lo que ésta va a parar enterita al «michelín». Mientras tanto, circulará por la sangre en forma de colesterol y triglicéridos elevados.

Al ayunar:

- Flexible: Utiliza fácilmente sus reservas de grasa como combustible, entrando sin problemas en cetosis. Los cuerpos cetónicos producidos por el hígado (a partir de las reservas de grasa) durante el ayuno nutren al cerebro, por lo que no sufre hipoglucemias (mareos, dolor de cabeza y cansancio) ni siente hambre a las pocas horas.
- Rígido: Incluso en el ayuno, apenas es capaz de usar grasa como energía, por lo que tirará de las reservas de glucosa agotándolas rápidamente. Esto obliga al hígado a seguir produciendo glucosa (vía gluconeogénesis) a expensas de catabolizar al músculo. Es muy común ver a personas inflexibles metabólicamente con niveles elevados de glucemia tras 16 o incluso 24 horas de ayuno, consecuencia de que literalmente se están comiendo el músculo para convertirlo en glucosa. De ahí que en este grupo de personas haya que ir muy poco a poco con los ayunos.

Al entrenar:

- Flexible: Sus mitocondrias son tan eficientes que es capaz de usar un elevado porcentaje de grasa incluso a intensidades altas de ejercicio. Esto le permite reservar glucógeno y usarlo rápidamente para esfuerzos elevados, lo que mejora su rendimiento.
- Rígido: La dificultad para quemar grasa corporal hace que, al entrenar, se dispare rápidamente el consumo de glucógeno y se reclute al metabolismo citoplasmático incluso a intensidades relativamente bajas. Como consecuencia, se acumula lactato e hidrogeniones de forma prematura, y ello hace que la fatiga aparezca antes.

Hay personas que no pueden funcionar sin tener la tripa llena, puesto que sus mitocondrias no son capaces de tirar de las reservas de energía, por lo que dependen del continuo empuje de meter combustible en el sistema. Al único almacén de energía que pueden acceder es al glucógeno y acumulan sin uso grasa corporal, la mayor fuente de energía que tenemos. Por eso decimos que se convierte en **glucodependientes**.

Dado que las reservas de glucógeno son muy limitadas en comparación a las de grasa, la demanda constante de glucosa, consecuencia de la inflexibilidad metabólica, induce el hambre cada poco tiempo, aumenta los antojos y el deseo de comer dulce, genera poca tolerancia tanto al ayuno como al ejercicio y provoca un estado de fatiga precoz.

13.2. El papel protagonista de la insulina

La insulina es posiblemente la hormona más poderosa de nuestro organismo, por lo que si se descontrola puede convertirse en la más peligrosa. Su función es la de señalizar la abundancia a nuestro organismo, activando poderosamente a mTOR e inhibiendo a la AMPK. De nuestra relación con ella depende, en buena medida, la flexibilidad de nuestro metabolismo, ya que tiene la capacidad de decidir qué combustible utilizar. La insulina elevada sólo permite el uso de glucosa y únicamente cuando desciende es posible el uso de grasa. Esto es muy importante, ya que un elevado porcentaje de la población mantiene los niveles de insulina crónicamente elevados.

La función principal de la insulina es permitir la entrada de la glucosa en la célula; sin ella, se acumula en la sangre. También es la encargada de rellenar las reservas de glucógeno, llevar aminoácidos y nutrientes a tus músculos y estimular la síntesis proteica al activar mTOR, por lo que es necesaria para el desarrollo de la masa muscular. Por último, dado que estamos en bonanza, la insulina disminuye la utilización de ácidos grasos.

En general:

- Disminuye la concentración de glucosa en sangre.
- Aumenta la síntesis proteica.
- Disminuye la utilización de ácidos grasos.

La insulina se eleva después de ingerir carbohidratos (modo tripa llena) y tiene que disminuir después, para no inhibir el uso de grasa en el modo tripa vacía.

En esta tabla podrás comprobar los efectos de la insulina en tu metabolismo.

METABOLISMO	ESTIMULACIÓN	INHIBICIÓN
Hidratos de carbono		
Ingreso de glucosa en la célula		
Glucogenogénesis		
Gluconeogénesis		
Glucólisis		
Proteínas		
Ingreso de aminoácidos a la célula		
Proteólisis		
Síntesis proteica		
Grasas		
Lipogénesis		
Lipólisis		
B-oxidación		
Cetogénesis		

Fuente: Elaboración propia.

Una buena forma de recordar las ideas claves de cómo actúa la insulina en nuestro organismo es aplicar estas fórmulas.

Insulina + proteína + ejercicio de fuerza = Músculo.
Insulina + ultraprocesados + sedentarismo = Grasa.

La resistencia a la insulina, la mala malísima

Corre la década de los noventa. Es sábado por la noche. Acudes a ese *pub* al que sabes que posiblemente acuda **la persona**. Al entrar al local apenas puedes respirar... ¿Serán los nervios? Podría ser, pero no. Los innumerables cigarrillos encendidos han convertido el espacio oscuro y poco ventilado en una atmósfera en la que hay más humo que oxígeno. Todo huele a tabaco. Sin embargo, tras unos instantes allí, casi por arte de magia, dejas de olerlo. ¿Habrás perdido el olfato? Parece que no, porque justo en ese momento te llega el aroma del perfume de esa persona a la que estabas deseando ver. Te das la vuelta tan rápido como una leona del Serengueti al oler a su presa. La noche acaba de empezar.

Si no habías perdido el olfato, ¿qué había pasado? Que los receptores de tu nariz que detectan los distintos olores se habían acostumbrado al humo y, por lo tanto, dejaban de percibirlo. Pues justo esto es lo que les ocurre a los receptores de insulina de las células de cuerpo. Cuando la insulina está presente de manera continuada en sangre, deja de hacer efecto en los receptores, porque

éstos se han acostumbrado y han perdido la sensibilidad necesaria para reconocerla. Se ha generado lo que se conoce como «resistencia a la insulina», que hace que nuestras células, especialmente las del músculo, la grasa y el hígado, no respondan bien a la insulina. **En definitiva, la persistencia crea la resistencia.**

Efectos perniciosos de la resistencia a la insulina

- La entrada de glucosa a la célula se dificulta, elevándose la glucemia. Debido al peligro de unos niveles de glucosa altos, el páncreas libera más insulina para vencer la resistencia de las células, que a su vez se volverán más resistentes.
- Cuando el hígado no tolera más glucógeno, empieza a formar triglicéridos, elevando los niveles en la sangre en su viaje hasta los adipocitos (células grasas), donde serán almacenados como grasa corporal.
- La insulina inhibe el uso de grasa como combustible a la vez que estimula su crecimiento, creando una tormenta perfecta.
- La resistencia a la insulina altera el circuito de la saciedad. A las personas que la padecen les cuesta mucho saciarse: podrían comer hasta el infinito y más allá.
- Los niveles de insulina elevados activarán la inflamación en nuestro organismo.
- Justo después de comer, cuando los niveles de insulina están por las nubes, es muy común observar cómo el cerebro de las personas con la resistencia a la insulina se inflama tanto que literalmente se quedan dormidos. Es comer y desconectarse. Esto es un signo muy característico de resistencia a la insulina.

13.3. Causas de la inflexibilidad metabólica y de la resistencia a la insulina

Como a efectos prácticos ambos conceptos (inflexibilidad metabólica y resistencia a la insulina) están tan íntimamente interrelacionados, vamos a analizarlos en conjunto tanto a nivel de causas como de tratamiento.

Dentro de las causas podemos destacar:

- Disfunción mitocondrial
- Sedentarismo
- Estrés crónico
- Falta de sueño
- Vivir en modo tripa llena
- Ir en contra de nuestro horario biológico
- Dieta insulinogénica

Disfunción mitocondrial

La mala salud de las mitocondrias es causa de inflexibilidad metabólica. Si nuestras centrales energéticas no pueden convertir el combustible en energía, éste se agolpará en la sangre y se acumulará en exceso en las reservas mientras sufrimos los efectos de la carencia de energía.

Por otro lado, como la grasa sólo se puede quemar en la mitocondria, la disfunción mitocondrial nos empuja a una excesiva glucólisis citoplasmática y a ser excesivamente dependientes de la glucosa. Ambas cosas, como ya sabes, tienen sus consecuencias.

Una persona con una patología mitocondrial tanto congénita como desarrollada a lo largo de la vida va a registrar una mayor predisposición a desarrollar resistencia a la insulina y a tener un metabolismo más rígido.

Sedentarismo

Si no lo usas, lo pierdes. Así de simple. El sedentarismo pone en hibernación al metabolismo. El movimiento da sentido a nuestras mitocondrias, mientras que una vida sedentaria es sinónimo de unas mitocondrias enfermas.

Estrés crónico

El estrés crónico dispara los niveles de la hormona cortisol que nos hace resistentes a la insulina, nos empuja hacia un metabolismo glucolítico, aumenta el hambre y, sobre todo, el antojo por los carbohidratos (cuanto más refinados, mejor).

Falta de sueño

El otro gran elevador del cortisol junto con el estrés crónico es la falta de sueño, que provoca unos efectos devastadores en nuestro metabolismo. Reducir el sueño a 5,5 horas, frente a las recomendadas 8 horas, tiene los siguientes efectos.

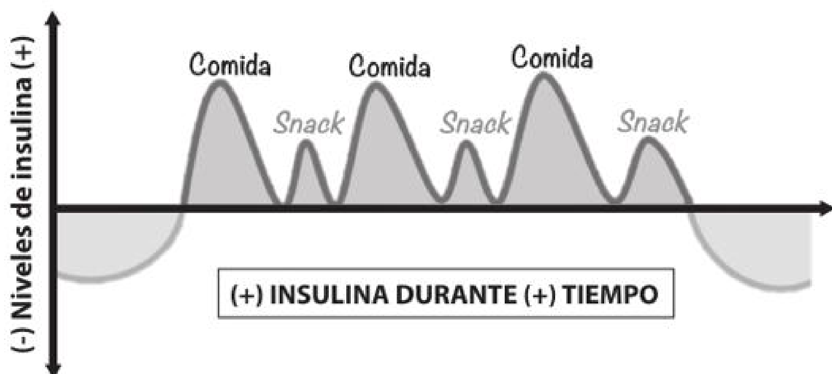
- Reduce a la mitad la quema de grasa.
- Altera el control de la glucosa en sangre.
- Aumenta el hambre.
- Provoca apetencia de alimentos hipercalóricos.

Vivimos en modo tripa llena

Otro de los problemas del estilo de vida actual y de la alimentación moderna es que nos hace pasar demasiadas horas en contacto con la insulina. El patrón de alimentación típico implica que desayunamos

antes del amanecer, hacemos varias comidas durante el día y seguimos comiendo hasta bien entrada la noche. Para muchas personas, comer es lo primero y último de cada día. Si a esto le añades la necesidad ficticia de ingerir cinco comidas al día, generamos una situación en la que no salimos jamás de la fase posprandial: como el modo tripa llena dura unas 4 horas, muchas personas encadenan una fase posprandial con otra. Esto se traduce en insulina en sangre de manera continuada. Y recuerda lo que hemos visto anteriormente: «La persistencia crea la resistencia».

Ilustración 15. Patrón de tres comidas + dos o tres *snacks* con una ventana de alimentación extendida



Fuente: Elaboración propia.

Vamos contra nuestro horario biológico

Nuestra genética es la de unos seres diurnos, estamos hechos para dormir en noches oscuras y ser activos durante días luminosos. Ir en contra de nuestros genes nunca es una buena idea, lo vemos en cómo un sueño de mala calidad enrigidece nuestro metabolismo, como también lo hace la falta de luz durante el día y el exceso durante la noche.

Los estudios nos muestran que las personas que se alimentan fuera de su horario biológico dañan su flexibilidad calórica. Diversos artículos han comparado la respuesta del organismo a dos patrones de alimentación distintos con la misma dieta, uno adelantado (8.00 h-19.00 h) frente a otro retrasado (12.00 h-23.00 h). Todos han llegado a las mismas conclusiones:

- Llevar las comidas hacia la noche conduce a la rigidez metabólica. Reduce nuestra capacidad de quemar grasa y aumenta los niveles de glucosa, insulina, triglicéridos y colesterol, así como el acúmulo de grasa en el tronco y las piernas.
- Un horario adelantado de comidas mejora la resistencia a la insulina y los niveles de insulina y glucosa, así como la oxidación de grasas, el colesterol y la acumulación de grasa corporal.

En conclusión, concentrar más calorías durante el día, en lugar de darnos un atracón por la noche, beneficia el peso y la salud cardiometabólica.

Dieta insulinogénica

Vamos a detenernos un poco más en el último elemento de nuestra lista de causas de la inflexibilidad metabólica. En este caso, prestaremos atención a lo que comemos.

Refuerzas lo que repites. Si la base de nuestra pirámide son los hidratos (largas cadenas de glucosa), nos estamos entrenando en usar glucosa. Si además demonizamos el consumo de grasas, limitamos la capacidad para usarlas como combustible. Al final, nos convertimos en glucodependientes.

Mi generación creció con la idea de que el azúcar era energía y la grasa, el demonio que te acercaba a la tumba. El bombardeo de publicidad convirtió en normal que un niño se comiera un chocolate en forma de huevo pero que a sus padres se les viera como irresponsables si le ofrecían unos huevos revueltos para desayunar. El gran mérito de la industria ha sido convertir en dogma que los hidratos de carbono deben ser la base de la alimentación a la vez que asociaban el término «hidrato de carbono» con ultraprocesados de alta carga glucémica. Galletas, bollos, cereales de desayuno o *snacks* de todo tipo se han introducido en la vida diaria poco a poco hasta que su consumo se ha normalizado.

Tipos de carbohidratos

La comida real que contiene carbohidratos es **la verdura, la fruta, la miel, los cereales, los tubérculos y las legumbres**. Obviamente, no todos tienen ni la misma cantidad ni el mismo tipo de carbohidrato, por lo que nuestro cuerpo responde de forma distinta ante ellos.

Los monosacáridos como la glucosa, la fructosa o la galactosa son los carbohidratos más sencillos. Junto a los disacáridos (como su nombre indica contienen dos monosacáridos) son lo que conocemos

como «azúcares» o «carbohidratos simples». Por ejemplo, el azúcar refinado contiene glucosa y fructosa.

Los monosacáridos también se pueden unir formando largas cadenas que conocemos como «carbohidratos complejos», o «polisacáridos», que son principalmente los almidones y la fibra. La gran diferencia entre ambos es que, mientras que los almidones los podemos digerir como moléculas de azúcar y absorberlos, no podemos digerir ni absorber la fibra.

En este sentido, los cereales y los tubérculos son muy ricos en almidón y pobres en fibra. Las legumbres también tienen un contenido considerable de almidón, aunque no tanto como los anteriores, pero son además ricas en fibra. La verdura es muy rica en fibra y su contenido en almidón es bajo. La miel y la fruta son ricos en azúcares, aunque, en el caso de la fruta, estos azúcares van dentro de una matriz de fibra y agua.

Contenido en almidón: Cereales refinados > cereales en grano > tubérculos > legumbres > verduras

Diferencia entre azúcar intrínseco y azúcar libre

La demonización en los últimos años, con bastante razón, del término «azúcar» ha llevado a que desde algunos colectivos se haya demonizado también el consumo de fruta, dado que ésta contiene azúcares. Lo que muchos no cuentan es el apellido del azúcar, puesto que no tiene nada que ver el azúcar «intrínseco» con el azúcar «libre».

- **El azúcar intrínseco**: Va dentro de la matriz del alimento acompañado de agua, fibra y fitoquímicos. Es el caso del azúcar presente en la fruta, que no resultaría problemático.
- **El azúcar libre**: Separado de la matriz del alimento, como el azúcar de mesa o el que se añade a los productos ultraprocesados, se comporta como una bomba insulinogénica. Entra en la circulación sanguínea de una forma muy rápida obligando al organismo a generar mucha insulina muy rápido para poder asimilarlo.

Lejos de engordar o perjudicar a nuestro metabolismo, el consumo moderado de fruta, que implica **2 o 3 piezas de fruta al día (± 300 g/día)**, tiene un impacto positivo en el metabolismo y un efecto antiobesidad.

Ilustración 16. Mecanismos antiobesidad de la fruta

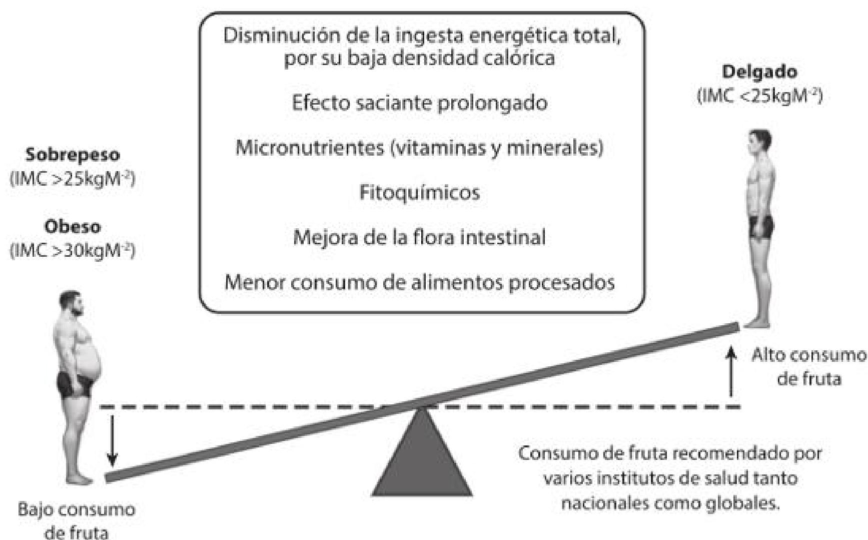


Ilustración: © Salomart.

Como todo en la vida, en la dosis está el veneno. Si una persona con inflexibilidad metabólica come grandes cantidades de fruta rica en azúcares, como, por ejemplo, plátanos (he llegado a ver pacientes que se comían cinco plátanos al día) en un contexto de sedentarismo, este consumo sí puede representar algún problema. Pero un consumo moderado de fruta es muy saludable.

La carga glucémica

El concepto **«carga glucémica»** hace referencia a la concentración de azúcares que tiene una ración de un determinado alimento. A mayor carga glucémica de un alimento, mayor será la respuesta de liberación de insulina (insulinogénica) de nuestro organismo.

Los alimentos ricos en almidón, como los cereales (arroz, trigo, avena, centeno...) y los tubérculos (como la patata, el boniato, la yuca...) tienen una carga glucémica muy alta. La fruta oscila entre la carga glucémica muy baja de los frutos rojos o el limón hasta la media del plátano. En el caso de los zumos, al despojar a la fruta de su fibra y dejar básicamente el azúcar y el agua, su carga glucémica se dispara. En esta lista puedes ver la carga glucémica (CG) de varios alimentos

comunes en nuestra dieta.

En frutas

	HIDRATOS DE CARBONO
Zumo de naranja	[illegible]
Zumo de manzana	[illegible]
Plátano	[illegible]
Mango	[illegible]
Uva	[illegible]
Piña	[illegible]
Manzana	[illegible]
Kiwi	[illegible]
Naranja	[illegible]
Melocotón	[illegible]
Sandía	[illegible]
Zumo de tomate	[illegible]
Fresa	[illegible]
Arándano	[illegible]
Frambuesa	[illegible]
Limón	[illegible]

En vegetales

	HIDRATOS DE CARBONO
Pasta cocida 20 min	[illegible]
Pan blanco	[illegible]
Arroz blanco	[illegible]
Pasta cocida 5 min	[illegible]
Patatas con piel	[illegible]
Puré de patata	[illegible]
Boniato	[illegible]
Pan de centeno	[illegible]
Garbanzo	[illegible]
Lenteja	[illegible]
Calabaza	[illegible]
Remolacha	[illegible]
Zanahoria	[illegible]

Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de los carbohidratos y carga glucémica

Cuanto mayor sea el grado de procesamiento de los carbohidratos, mayor será su carga glucémica. Por ejemplo, cuando cogemos la fruta y la convertimos en zumo despojándola de su fibra, descomponemos sus hidratos de carbono complejos hasta azúcares simples, elevando

muchísimo su carga glucémica. Exactamente igual ocurre con los cereales. Cuando separamos el grano entero de un cereal del germen y de la fibra, lo reducimos a almidón. Pero cuando molemos este almidón para hacer harina, lo convertimos prácticamente en azúcar.

La cocción de los almidones también aumenta la carga glucémica, ya que con el calor se rompen en azúcares sencillos. No es lo mismo comer la pasta o el arroz al dente que con una cocción muy prolongada.

Tanto el azúcar (en bebidas/refrescos, en dulces, en tu café o té y añadido en los ultraprocesados) como los **hidratos de carbono refinados, harinas y almidones** (en realidad, se comportan como el azúcar) como **el arroz, las patatas, la pasta, el pan y similares** tienen una elevada carga glucémica que eleva rápidamente los niveles de glucosa en la sangre y aumenta la insulina. Al final de este capítulo, te daré algunos consejos para reducir la carga glucémica de los hidratos de carbono.

Los almidones no deberían ser la base de la alimentación humana; hay que priorizar las grasas saludables, la proteína y las verduras sobre las harinas y los almidones.

Armas de confusión masiva

La comida debería ser la forma de nutrir nuestro cuerpo aportándole lo que necesita para funcionar de una forma óptima. El problema es que hoy en día existen muchísimos productos comestibles que no merecen ser llamados «alimentos» porque empeoran nuestra salud y arruinan nuestro metabolismo debido a la pésima calidad de los ingredientes que lo componen. Son los llamados «ultraprocesados» y su formulación industrial incluye:

- Ingredientes procesados previamente
- Refinados (azúcar, almidón, aceites vegetales, sal) o sintetizados (grasas trans, aditivos...)
- Añadidos como sabores, colores y emulsionantes
- No contienen ingredientes frescos o reconocibles en su presentación final

Las grandes cantidades de azúcar y grasa de estos productos hacen que sean muy fáciles de digerir y rápidos de asimilar. Poco después de ser ingeridos, nuestras arterias se inundan de glucosa y ácidos grasos, generándose lo que se conoce como **«confusión mitocondrial»**: las mitocondrias tienen tanto combustible que las saturan, paralizan su función y, por lo tanto, la de nuestro

metabolismo.

Mi consejo es que no te dejes seducir por las etiquetas con mensajes saludables en paquetes de colores muy llamativos. La primera regla para una alimentación saludable es ésta: «Comer alimentos naturales y evitar los productos industriales, es decir, los alimentos ultraprocesados».

Si viene en un envase bonito y tiene una lista larga de ingredientes con nombres extraños, seguramente no sea bueno para tu salud.

Como dice el divulgador Marcos Vázquez: «Si el fabricante tiene que gastar millones en publicidad para convencerte de lo sano que es, seguramente no lo sea». La mayoría de estos productos tienen como base harinas refinadas, aceites vegetales refinados, azúcares añadidos, acompañados de sal, saborizantes y otros aditivos que, en su conjunto, son un auténtico veneno para tus mitocondrias.

La recomendación es muy simple: cuanto menos ultraprocesados, mejor.

13.4. Cómo mejorar la flexibilidad metabólica y la sensibilidad a la insulina

Trabajar en las causas del estrés crónico y en la falta de sueño serán dos de los pilares de cualquier intervención enfocada a mejorar la flexibilidad metabólica y la resistencia a la insulina. Las estrategias de manejo del estrés, como meditar, mejoran la sensibilidad a la insulina. Otras estrategias claves para rehabilitar metabólicamente a las personas incluyen:

- Ejercicio físico
- Acortar y adelantar nuestra ventana de alimentación
- Ayuno y ejercicio en ayunas
- Retos térmicos (baños fríos y sauna)
- Alimentación adecuada en carbohidratos
- Suplementos (son un complemento, no una estrategia)

Ejercicio físico

Cuantas más mitocondrias poseas, más capacidad tendrás para utilizar tanto la glucosa como la grasa para producir energía. El ejercicio físico es el mejor estímulo para generar más y mejores mitocondrias y mantiene a punto nuestra compleja maquinaria metabólica. Por eso hablaremos más de él en el próximo capítulo.

¿Qué tipo de ejercicio físico necesitamos? ¡Todo! Tanto el

aeróbico de baja intensidad (movernos con frecuencia, incluso caminar rápido ayuda y mucho), como el entreno de la fuerza y las sesiones de alta intensidad, que agotarán rápidamente el glucógeno y mejorarán automáticamente la sensibilidad a la insulina.

Otra cosa importante con respecto al músculo y la sensibilidad a la insulina es que el músculo en movimiento (contrayéndose) no necesita insulina para captar glucosa. Por ello, dar un paseo después de cada comida reduce sin necesidad de insulina los niveles de glucosa en sangre que se han elevado tras ingerir alimentos. Esto es muy importante para las personas con resistencia a la insulina y ni te cuento en el caso de padecer diabetes.

Acortar y adelantar nuestra ventana de alimentación

Para flexibilizar nuestro metabolismo y mejorar la sensibilidad a la insulina, debemos pasar más tiempo del día en modo tripa vacía para convencer a nuestro organismo de que tiene que tirar de nuestras reservas de grasa. **Esto pasa por hacer menos comidas al día durante un período más corto de tiempo y con menor activación de la insulina en cada comida.**

Una guía simple es adelantar tus comidas maximizando las calorías durante el día y reducir las calorías nocturnas. Pasa de hacer cinco comidas mediocres al día a tres comidas en condiciones. La única evidencia de las famosas cinco comidas al día es que mejoran la salud económica de las empresas de alimentación que venden *snacks*. Como regla general, deja al menos un par de horas antes de irte a la cama.

Otra herramienta es concentrar tus comidas en una menor ventana de tiempo. Esto puedes llamarlo «ayuno intermitente» o simplemente «cenar antes y/o desayunar un poco más tarde». Salvo que peregrines de madrugada a la nevera, ya practicas cada noche el ayuno, lo que pasa es que lo llamas dormir. Para flexibilizar tu metabolismo sólo necesitas alargar un poco más la ventana del ayuno nocturno hasta las 12 horas o, mejor, hasta las 13 horas. Si terminas de cenar a las 21.00 horas y desayunas a las 10.00 horas del día siguiente, ya tienes ahí 13 horas de ayuno. Suficiente para experimentar muchos de sus beneficios metabólicos y, por supuesto, mitocondriales.

El ayuno activa la AMPK y con ella la mitofagia (el reciclaje de las mitocondrias) que las renueva y rejuvenece. Además, los cuerpos cetónicos producidos al ayunar protegen y mejoran la salud de las mitocondrias.

¿No puedes aguantar más de 6 horas sin comer porque te sientes débil o te duele la cabeza? ¿Necesitas comer algo antes de entrenar porque si no, no rindes? ¿Te mareas por no haber desayunado?

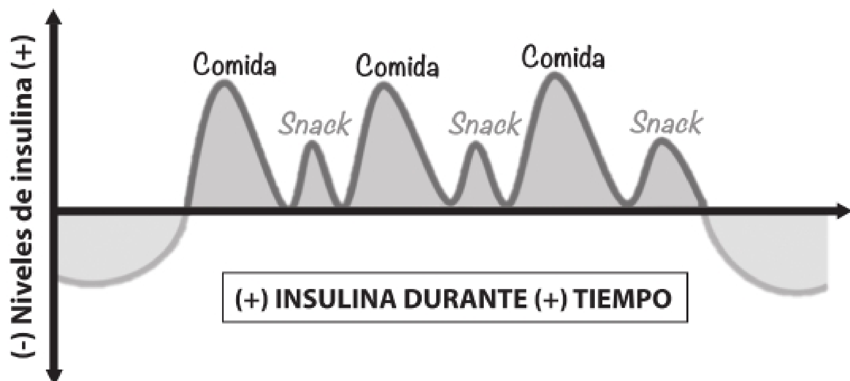
Querido amigo, tu metabolismo está más tieso que una tabla de planchar. Pero no te preocupes; como dice el título del libro de Toni Nadal: «Todo se puede entrenar».[3] Si tu ayuno nocturno es de 8 horas, como es el de muchas personas, y las 13 horas te abruman, empieza con 10 horas y cada semana añade 1 hora más de ayuno. En menos de un mes habrás logrado el objetivo de las 13 horas de ayuno nocturno.

Una vez alcanzada nuestra meta, eres libre de experimentar añadiendo horas extra. Numerosos estudios nos dicen que los beneficios metabólicos y mitocondriales aumentan hasta las 16 horas de ayuno (el famoso ayuno 8/16). Pero no te agobies si no te cuadra en tu vida, pues este ayuno puede llevarte a tener que hacer únicamente dos grandes comidas al día: el ayuno de 13 horas ya está fenomenal.

La cultura de «sin comida no hay energía» está tan arraigada que incluso a mi querida Sari Arponen, tras su ponencia en el congreso del FC Barcelona al que cual tuve el honor de ser invitado por la fisióloga del Barcelona, la doctora María Antonia Lizarraga, se le acercó un neurólogo para decirle que estaba preocupado por ella por si se mareaba por no haber desayunado. Deberíais ver la cara del doctor cuando Sari le hablaba de conceptos como flexibilidad metabólica o gluconeogénesis. Si hasta al pobre señor le sonaba a chino, no deberíais culpabilizaros por no haber conocido hasta ahora la importancia de estas herramientas.

Si quieres profundizar más en los beneficios del ayuno intermitente, dos divulgadores en habla hispana que podrías seguir son, sin duda, Endika Montiel y Néstor Sánchez; tanto sus libros y entrevistas como todo lo que publican en redes sociales aportan mucho contenido en lo relativo al ayuno y la salud.

Ilustración 17. Patrón de tres comidas sin *snacks* (ventana de alimentación acortada 12 h)



Fuente: Elaboración propia.

Ayuno

El **butirato** es un ácido graso de cadena corta que es la ambrosía de nuestras mitocondrias: una fuente de energía tan rápida como la glucosa pero tan limpia y eficiente como la grasa. Gracias a su pequeño tamaño, no necesita pasar por la beta oxidación ni ser transportado por la carnitina para entrar en la mitocondria, por lo que se convierte en ATP muy velozmente y produce más energía con menos estrés oxidativo. Además, es capaz de activar vías tan importantes como Nrf2, sirtuinas y la AMPK, que aumentan la capacidad antioxidante y antiinflamatoria, y mejoran la función y el crecimiento mitocondrial, la reparación del ADN mitocondrial y la autofagia. Su presencia, por tanto, **es fundamental para asegurar la flexibilidad metabólica**.

La forma de acceder al butirato es triple:

- Lo puede generar una microbiota saludable gracias a la fermentación de fibra y almidones resistentes.
- Lo podemos obtener de la dieta, en especial de la mantequilla clarificada o *ghee*.
- Lo podemos generar nosotros. Nuestro cuerpo produce un tipo de butirato conocido como «beta hidroxibutirato» (BHB), que es un cuerpo cetónico producido por nuestro hígado a partir de la grasa cuando las reservas de glucógeno se agotan. Este mecanismo es la cetosis y la podemos lograr a través de la **dieta cetogénica**, el **ayuno** y el **ejercicio**.

Y dentro del ayuno..., ejercicio en ayunas

El hígado es un buen jugador de equipo, porque pone sus reservas de glucógeno a disposición de quien las necesite (principalmente del cerebro), mientras que la musculatura es más individualista, ya que no comparte su glucógeno con nadie. Podemos usar esto a nuestro favor para *hackear* nuestro metabolismo combinando dos estrategias tan poderosas como el ejercicio y el ayuno y maximizando la expresión de la AMPK.

Tras 8-12 horas de ayuno tus reservas de glucógeno hepático estarán bajas, pero tus músculos mantienen suficiente para poder entrenar sin problemas. Si aprovechamos el ayuno nocturno para hacerlo a primera hora, antes del desayuno, por ejemplo con un entrenamiento de intervalos, corto pero intenso, o salimos a correr o a caminar rápido, los beneficios del ejercicio y del ayuno se retroalimentarán entre sí generando un círculo virtuoso.

Cuando nos movemos en ayunas, forzamos a que nuestro cuerpo tire de reservas favoreciendo el uso de grasa corporal como combustible, elevando la producción de cuerpos cetónicos en el hígado y facilitando el uso de lactato como fuente de energía. Esto no quiere decir que forzosamente quemarás más grasa durante el ejercicio en ayunas, pero lo relevante es que tu cuerpo usará mejor la grasa durante todo el día. No queremos un metabolismo flexible durante el entreno, queremos que el ejercicio flexibilice nuestro metabolismo para hacer frente al día.

¿Te gustaría conocer un truco para potenciar el uso de grasa y el funcionamiento de tus mitocondrias durante el ejercicio en ayunas? Igual que la insulina frena las mitocondrias y el uso de grasa como combustible, las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) las impulsan. El ejercicio en ayunas es una forma poderosa de elevarlas, pero, si quieres llevarlo a otro nivel, puedes usar el combo de **cafeína + tirosina**.

La cafeína maximiza los efectos del ayuno y del ejercicio y estimula la síntesis de marcadores de biogénesis mitocondrial como CaMKII, PPARγ, AMPK y PGC1α. La tirosina es la materia prima de la que se construyen las catecolaminas y otras sustancias como la dopamina (motivación) y las hormonas tiroideas, por lo que es además sinónimo de más activación, motivación, tolerancia al estrés y mejor función tiroidea. Tomar un café con 1 gramo de tirosina unos minutos antes de entrenar en ayunas dará un buen empujón a tus mitocondrias.

Si quieres rizar el rizo añade a tu café unas gotas de aceite de coco. El aceite de coco es rico en un tipo de grasa especial conocida como «triglicéridos de cadena media», análogos a los cuerpos cetónicos (el famoso butirato), que penetran muy fácilmente en la mitocondria para ser usados rápidamente como combustible. Es una

forma estupenda de entrenar a tus mitocondrias en la quema de grasas y actúa en sinergia con el café y el té verde.

Es posible que estés pensando que añadir aceite de coco a tu café te sacará del ayuno, pero debes tener en cuenta que existen tres motivos que hacen que esto sólo sea cierto a medias:

1. La insulina es el principal factor que paraliza los beneficios del ayuno. Al usar sólo grasa, no la activarás.
2. Para obtener beneficios, basta con añadir unas gotas de aceite de coco. Cantidades por debajo de las 50 kcal no paralizan los beneficios moleculares del ayuno.
3. Las gotas de aceite de coco las añades en un contexto en el que te vas a poner a hacer a ejercicio, no a sentarte delante del ordenador.

Que quede claro que lo importante es movernos en ayunas. El café, la tirosina o el aceite de coco son complementos que de nada servirían sin lo principal.

Retos térmicos

La proteína desacoplante-3 (UCP3) que se despierta con el entrenamiento en ayunas y mejora la capacidad muscular de usar la grasa como combustible es pariente directa de la proteína desacoplante-1 (UCP1). Ésta se ve estimulada con la exposición al frío, que también eleva la síntesis de catecolaminas. De ahí que una ducha de agua fría tenga también interesantes beneficios metabólicos, más si cabe si viene antecedida de un baño de sauna, de los que se ha demostrado que mejoran la sensibilidad a la insulina y la flexibilidad metabólica.

La suma de estas dos estrategias (sauna y baño frío) es tan poderosa que muchos preparadores la consideran **un entrenamiento silencioso**.

Alimentación adecuada en carbohidratos

De la misma manera que al estudiar las causas de la rigidez metabólica hemos visto el daño que puede producir una dieta con un nivel en carbohidratos incorrecto, ahora indagaremos en cómo podemos acercarnos a su ingesta adecuada para favorecer nuestra flexibilidad metabólica.

Dado que los carbohidratos van ligados de manera inevitable a la insulina, las personas con resistencia a la insulina, diabetes,

hipertensión arterial, triglicéridos elevados o hígado graso se ven beneficiadas al reducirlos en su dieta. No existen los hidratos de carbono esenciales: cualquier persona puede llevar una vida saludable sin ingerir carbohidratos, siempre y cuando coma una gran cantidad de verduras de hoja verde. Esto no implica que el problema sean los carbohidratos ni que eliminarlos sea lo óptimo; el problema está en el metabolismo dañado y maltratado.

La cuestión no es comer pocos carbohidratos, sino los adecuados para tu caso particular.

Para esto, me temo, no hay reglas universales. El contexto de cada persona será lo que marque la diferencia. Nada tiene que ver el impacto de los carbohidratos en una persona con resistencia a la insulina (o diabética, sedentaria y obesa) con otra persona delgada y sana que sale a correr y levanta pesas varias veces por semana. El objetivo final no es reducir los carbohidratos, aunque durante el proceso tengamos que hacerlo en algunos casos, sino mejorar nuestra capacidad para usarlos de forma óptima, gracias a un metabolismo más flexible.

Si padeces algún tipo de trastorno metabólico, alguna enfermedad neurodegenerativa o cualquier condición en la que tus mitocondrias no funcionen de forma óptima (por ejemplo, fibromialgia), sería muy conveniente que revisaras tu relación con los hidratos de carbono. En estos casos, un enfoque más bien moderado y en el que tengas que ganarte tus almidones con ejercicio podría serte de gran ayuda. Aunque yo te voy a dar algunas recomendaciones al respecto, quizá lo mejor para ti es que inviertas en salud acudiendo a un nutricionista/dietista que te haga más fácil el proceso.

Dieta cetogénica

Si hacemos una dieta muy baja en carbohidratos, en la que representen sólo de un 5 a un 10 por ciento del total de las calorías consumidas, obligamos a nuestro organismo a tirar de grasas, produciendo con ello cuerpos cetónicos. De ahí que a este tipo de dieta se la conozca como «cetogénica».

Los alimentos permitidos dentro de una dieta cetogénica saludable son:

- Proteínas: huevos, pescado, marisco, carnes, vísceras, gelatina y

caldo de huesos.

- Grasas: aceites (de oliva y coco), aceitunas, mantequilla, mantequilla clarificada (*ghee*), frutos secos y chocolate puro.
- Vegetales bajos en hidratos y ricos en fitoquímicos como espinacas, brócoli, rúcula, kale, cebolla, col, calabacín, bimi, pepino, berenjena, setas, alcachofas, rábanos, espárragos…
- Las hierbas y especias: cúrcuma, cayena, ajo, jengibre, cilantro, cebollino…
- Frutas con mínimo aporte de carbohidrato: limón, lima, arándanos, frambuesas, moras, fresas, aguacate, tomate y coco.
- Lácteos: enteros fermentados y no azucarados como el yogur o kéfir. Siempre que te gusten y los toleres bien.

Es cierto que la cetosis es un estado muy beneficioso para nuestras mitocondrias, pero esto no quiere decir que lo ideal para ellas sea que estés en cetosis constante siguiendo una dieta keto o cetogénica como forma de vida. Por mucho que hayas leído o escuchado (en redes sociales, no en revistas de divulgación científica) que la cetosis es el estado metabólico natural del ser humano y que la dieta cetogénica es la mejor estrategia nutricional para la humanidad, estas afirmaciones carecen de cualquier rigor científico.

Lo que sí es necesario es que produzcas cuerpos cetónicos a diario y eso lo conseguiremos con el ayuno y durante el ejercicio, más aún si es con las reservas de glucógeno bajas, es decir, en ayunas. A partir de las 12 horas de ayuno ya habríamos consumido las reservas de glucógeno y comenzaremos a oxidar ácidos grasos para la producción de energía. Con ello empezamos a generar cetonas. A partir de aquí, cada hora adicional de ayuno aumenta la producción de cuerpos cetónicos.

Esto no quiere decir que la dieta cetogénica pautada por un profesional de la nutrición durante un período determinado de tiempo y en un contexto adecuado no sea una herramienta útil para mejorar la flexibilidad metabólica. Yo mismo pienso que programar un par de ciclos de dieta cetogénica en invierno (cuando evolutivamente escaseaban las frutas) es algo muy recomendable para el grueso de la población. Si quieres saber más sobre la dieta keto, te recomiendo el libro *Dieta keto*[4] de Ari Grau.

Importan la cantidad, el tipo y la frecuencia de carbohidratos

Como ya hemos dicho, cada vez que comes carbohidratos, elevas la insulina en una proporción directa a la cantidad y la carga glucémica de los carbohidratos ingeridos. Sin acudir a una dieta cetogénica completa, con las estrategias previas de alimentarnos en una franja

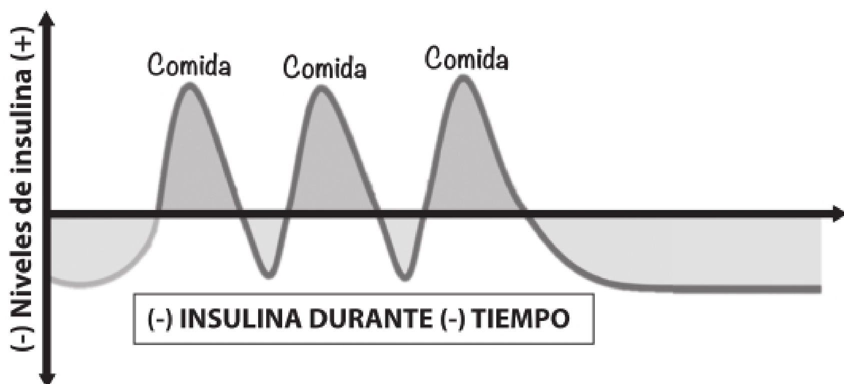
horaria más reducida e ir a un patrón de tres comidas, ya tenemos bastante camino andado, pero existe una medida muy obvia que podemos añadir: no comer carbohidratos, o comerlos en una cantidad muy muy baja en alguna de las comidas del día, nos ayudará a controlar la insulina. Si aprovechas para evitar los hidratos en el desayuno o la cena, estarás sumando horas al ayuno nocturno y maximizarás sus beneficios.

Las personas que basan sus desayunos en alimentos ricos en proteína y grasa y bajos en hidratos de carbono, lo que la bioquímica Jessie Inchauspé llama en su libro *La revolución de la glucosa*[5] un *savory breakfast* ('desayuno sabroso'), tienen menos hambre y más energía a lo largo del día que aquellas personas que consumen el típico desayuno occidental basado en pan o, peor aún, en dulces.

Te dejo algunas opciones de desayunos y cenas muy bajos en hidratos:

- Yogur, preferiblemente de cabra/oveja o de leche de coco (son más ricos en MCT), con nueces, algunos arándanos y chocolate puro. Si quieres puedes añadirle un poco de canela para darle un toque dulce.
- Un revuelto de huevos con queso/jamón/pavo/setas y verduras, acompañado de espinacas o kale y medio tomate, con aceite de oliva.
- ¿Por qué no? También puedes desayunar una ensalada de verduras o unas verduras al vapor o al horno con pescado o carne.

Ilustración 18. Efecto en la insulina de un desayuno muy bajo en hidratos de carbono.



Fuente: Elaboración propia.

Algunas recomendaciones prácticas para reducir la carga glucémica de los almidones

Antes hemos visto la tabla de equivalencias entre varios ingredientes y su nivel glucémico («La carga glucémica»). Ahora veamos cómo usar ese conocimiento para construir un menú que nos aleje de la rigidez metabólica.

Verduras en todas las comidas y vinagre como entrante

El grueso del almidón de tu dieta debería provenir del plátano macho (verde), la zanahoria, la calabaza y la remolacha. Además, deberías tener presente que el ácido acético presente en el vinagre y la fibra de las verduras amortiguan la carga glucémica de los almidones, reduciendo los picos de glucosa e insulina.

Así que siempre que comas almidones (pasta, pan, patatas o arroz), haz que la verdura sea la protagonista del plato. Yo suelo decir a mis pacientes: «Come verdura con arroz o patata y no patatas o arroz con verdura».

El vinagre puedes tomarlo diluido en agua, ponerlo directamente sobre los almidones o empezar tus comidas con una abundante ensalada aliñada con vinagre. Una cucharada sopera antes de comer, gracias a su contenido en ácido acético, puede reducir hasta un 30 por ciento el pico de glucosa de esa comida y hasta un 20 por ciento el pico de insulina.

Almidones enfriados

Dejar enfriar los almidones cocinados (patata, boniato, arroz e incluso pasta) en el frigorífico durante 24 horas reduce su contenido en almidón, ya que una parte de éste se vuelve resistente, por lo que no podemos digerirlo ni absorberlo. No elevará ni la glucosa ni la insulina, pero sí servirá para alimentar a las bacterias productoras de butirato. Del almidón resistente hablaremos un poco más cuando profundicemos en la relación entre la microbiota y las mitocondrias.

Si no te apetece un plato frío, no pasa nada. Podemos recalentarlo; eso sí, sin superar los 100 ºC.

Movimiento

Moverse al menos 10 minutos después de comer es un truco muy potente para aplanar la curva de glucosa, ya que el músculo en movimiento no depende de la insulina para captar glucosa.

Conclusiones con respecto a la alimentación adecuada para un metabolismo flexible

- Suficiente proteína (1,5-2 g/kg/día).
- Grasas saludables: Omega 3 (pescado azul y marisco), triglicéridos de cadena media (aceite de coco y lácteos de cabra y oveja), grasas monoinsaturadas (aceite de oliva virgen extra, aguacate, nueces…) y colina (huevos).
- Con respecto a los hidratos de carbono, debemos mejorar nuestra relación con ellos:
  - Reduciendo la cantidad cuando sea excesiva.
  - Consumiendo principalmente los de baja carga glucémica.
  - Haciendo descargas de hidratos (evitarlos en algunas comidas, introduciendo algunos ciclos de keto al año…).

¡¿Qué hay del pan?!

Abrir el melón del pan nos daría para un libro entero, así que permíteme que pasemos de puntillas por este tema. Lo primero que puedo decirte es que no es necesario comer pan tres veces al día, porque este alimento, al igual que la pasta, son alimentos «llenatripas». En lo único que destacan los cereales es en ser una fuente fácil de calorías en forma de almidón, algo que precisamente nos sobra en la alimentación moderna.

No hay nada en los cereales que no esté presente en la fruta y la verdura. Sin embargo, éstos carecen de buena parte de las vitaminas, los minerales y los fitoquímicos que sí se encuentran en el resto de las plantas. Si llenas tus comidas con pan, bollería, pasta o arroz, no habrá el suficiente espacio para otros alimentos con mayor densidad nutricional y caerás en lo que se conoce como un «embudo alimentario».

Si crees que una alimentación con pocos o ningún cereal es una alimentación sosa y aburrida es que te falta la herramienta más poderosa: aprender a cocinar nuevos platos. No puedo dejar de recomendarte *En la cocina con la doctora Arponen*,[6] el libro de recetas saludables de la doctora Sari Arponen. **Todas las recetas son sin gluten y sin azúcares añadidos** y, en general, bajas o moderadas en carga glucémica. No hay cereales, tienen pocos lácteos (y muy poca caseína) y se proponen sustituciones de los ingredientes para diversas intolerancias y preferencias. Un patrón de alimentación a base de comida real, bueno para la microbiota y excelente para nuestras mitocondrias. Como dice Sari: «La salud empieza en el mercado y en la cocina».

Dicho esto, si eres de los que no puede vivir sin su trocito de pan nuestro de cada día (hay que admitir que está buenísimo), debes saber que existen recetas de panes bajos en hidratos de carbono, por

ejemplo, con base de harina de almendra y *psyllium*. El pan de cereales germinados (tipo Ezequiel) y el pan de masa madre (*sourdough*) sin levaduras rápidas (mejor de harina de trigo sarraceno) son también opciones saludables, con menor carga glucémica y un mejor perfil nutricional que el pan blanco de trigo. Una opción muy fácil, rápida y deliciosa es lo que en el mundillo *low carb* se conoce como «pan de un minuto», por el tiempo que tarda en prepararse.

Suplementos para mejorar la flexibilidad metabólica

Aunque la clave sea el estilo de vida, hay ciertos alimentos y suplementos especialmente interesantes para restaurar la flexibilidad metabólica y aumentar la sensibilidad a la insulina:

- Té verde
- Especias: cúrcuma, jengibre, ajo y canela. Esta última es especialmente interesante para mejorar la resistencia a la insulina y los antojos de dulce. Créeme, funciona muy bien, así que añádela en la fruta cortada, en infusiones, cafés…
- Cacao puro

En cuanto a suplementos:

- Magnesio
- Omega 3
- Tirosina
- Selenio
- N-Acetilcisteina
- Berberina

Un pensamiento final

Decir a una persona obesa que para bajar de peso tiene que comer menos y gastar más puede ser cierto en ocasiones, pero será una estrategia a todas luces errónea si no se atiende a su contexto, sin entender el ambiente obesogénico que la rodea. La obesidad no es un problema de la persona, es un problema de la sociedad. Es muy triste ver cómo normalizamos los entornos poco saludables, pero somos muy crueles con las personas que sufren sus consecuencias. Te lo dice alguien que durante toda su infancia recibió todo tipo de burlas por su peso.

Ni la obesidad es un problema de voluntad o de pereza ni la tensión alta, el azúcar, los triglicéridos y el colesterol elevados deberían ser corregidos con fármacos sin atender a que todo es consecuencia de un metabolismo enfermo causado por unas mitocondrias disfuncionales dentro de un medio hostil.

14

Mueve tus mitocondrias

Allá por 2011, tuve la oportunidad de formar parte de un equipo divulgador organizado por el Servicio Andaluz de Salud (SAS) cuyo propósito era compartir con los profesionales de distintos hospitales de la geografía andaluza los últimos avances en el tratamiento multidisciplinar de los pacientes con fibromialgia. La disfunción mitocondrial es la gran marca de la fibromialgia. En esta patología, las mitocondrias musculares son incapaces de producir energía de una manera eficiente sumiendo a las personas que la padecen en un estado crónico de cansancio y dolor generalizado.

Aún recuerdo las caras de asombro de muchas de las personas que acudieron a los eventos al enterarse de que, entre todas las intervenciones posibles, el ejercicio físico era la que mostraba una evidencia más alta de efectividad. Ni fármacos novedosos, ni revolucionarios aparatos, ni agua bendita que valga... Lo mejor era mover esos cuerpos doloridos y cansados. Eso sí: de manera pautada, progresiva y controlada.

Y es que podría parecer contraintuitivo que el ejercicio fuese cuando menos tolerado en personas con fibromialgia. Más extraña aún resulta la idea de que este ejercicio sea medicina para ellas. Pero así es. El ejercicio es medicina, en especial para nuestras mitocondrias. Incluso en pacientes con miopatías mitocondriales hereditarias, se ha demostrado que el ejercicio conlleva mejoras significativas en la función mitocondrial, aumentando la capacidad oxidativa y disminuyendo la acumulación de lactato en sangre.

Tenemos tan normalizado el sedentarismo en nuestra sociedad que nos ha llevado a ver el ejercicio como una intervención, cuando en realidad es una necesidad. La actividad física sigue siendo el *modus vivendi* grabado en nuestros genes y la falta de ella, como daño colateral de la vida moderna, ha sido la verdadera intervención negativa.

14.1. Tenemos el movimiento grabado a fuego en nuestros genes

La genética común que compartimos todos los seres humanos es el resultado de las fuerzas evolutivas que la moldearon. Los antiguos humanos que sobrevivieron son los que pudieron transmitir sus genes a todos nosotros. Y si pudieron sobrevivir fue porque pudieron encontrar comida (cazando y recolectando) y evitaron convertirse en comida (de otros depredadores). Además, construyeron refugios,

emigraron cuando fue necesario, caminaron, trotaron, corrieron, lucharon, treparon, lanzaron objetos, tiraron, empujaron, saltaron... En resumen, no hacían actividad física para divertirse o estar en forma; dependían de sus cuerpos para sobrevivir.

Es por ello por lo que el movimiento se grabó en nuestros genes. Dado que éstos son los mismos que los de nuestros ancestros y esperan movimiento en todas sus variantes (alta, media y baja), sin cierto nivel de movimiento nuestro organismo no puede funcionar correctamente. **Vaya, que no existe un sedentarismo sano**.

¿Cómo se movían nuestros antepasados?

Nuestros ancestros no corrían grandes distancias a trote (excepto algunas poblaciones cazadoras por extenuación), pero se movían mucho a baja intensidad. Un ejemplo de ello es la vida cotidiana de los hadza de Tanzania, una de las últimas poblaciones de cazadores-recolectores de la Tierra. Los hombres recorren entre 15 y 20 kilómetros al día cargados con sus arcos y flechas en busca de comida, mientras que las mujeres caminan diariamente más de 10 kilómetros, muchas veces con bebés a sus espaldas, recolectando tubérculos, plantas y raíces. En total, los hadza se mueven hasta catorce veces más que una persona activa de cualquier sociedad moderna. Imagina ahora la comparación con una persona sedentaria; da miedo pensarlo, ¿verdad?

El día a día de los hadza nos enseña que estamos más preparados para andar rápido que para correr (no quiere decir que no tengamos que correr, que ya te veo venir...). Aunque en el pasado también realizábamos actividades intensas de corta duración, como trepar a un árbol deprisa y corriendo tras ver un león.

Podríamos decir que nuestros antepasados cazadores-recolectores tenían un patrón muy marcado de movimiento ancestral, en el que se distinguen dos modos de actividad:

1. Episodios diarios de actividades aeróbicas prolongadas y de baja-media intensidad, recolectando alimento como plantas, frutos silvestres, raíces, huevos...
2. Ráfagas de actividad periódicas, de corta duración y de alta intensidad, como correr a toda velocidad o trepar a un árbol para cazar una presa o para evitar ser cazado por algún depredador.

En algunas ocasiones, esos patrones de actividad se realizaron con baja disponibilidad de glucosa o, lo que es lo mismo, con la barriga

vacía, usando las reservas de grasa. Como veremos después, las intervenciones para mejorar la salud de nuestras mitocondrias a través de actividad física que se base en este patrón de actividad de nuestros antepasados serán las más efectivas.

14.2. El ejercicio físico como medicina

El funcionamiento de nuestro organismo no se puede entender desde el sedentarismo. Hemos nacido para el movimiento y, sin él, nuestro cuerpo sufre y nuestra salud se resiente.

Un metabolismo activo es sinónimo de un organismo saludable y, sin duda, no existe mejor activador metabólico que el ejercicio. Tenemos que desterrar el enfoque «pesocentrista» del ejercicio: el ejercicio no es un arma para quemar calorías sino una herramienta para mejorar nuestra salud. Si después de leer este libro tan sólo te quedaras con esta idea, todo el esfuerzo y el cariño que he puesto en escribirlo ya me habrían valido más que la pena.

Enfócate en la salud: trabaja en tu metabolismo, no sólo en tu peso.

La realidad es que la masa muscular es un seguro de vida. Una mayor masa muscular reduce en mayor medida el riesgo de mortalidad por cualquier causa que un nivel bajo de grasa corporal. Puestos a elegir, es mejor tener sobrepeso pero buena masa muscular y estado físico que ser un delgado sedentario con poca masa muscular.

Una de las definiciones más bonitas de ejercicio físico que he leído es la de Kevin Contrepois, un investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford, que lo llamó **«una coreografía molecular»**. Según sus estudios, en una sola sesión de ejercicio se liberan a la sangre más de 9.815 moléculas relacionadas con el metabolismo, el estrés oxidativo, la inflamación y la regeneración de tejidos. Unos efectos que son imposibles de imitar ni por el más avanzado de los fármacos inventados hasta ahora.

Conclusiones similares a las de Contrepois llevaron a Bente Klarlund Pedersen, profesora de Medicina Integrativa e investigadora de la Universidad de Copenhague, a definir **el ejercicio físico como medicina**. En su estudio de revisión publicado en 2015, Pedersen aporta las bases actualizadas en la evidencia para prescribir ejercicios como medicamentos en el tratamiento de las 26 enfermedades crónicas más comunes, incluyendo:

- **Enfermedades psiquiátricas**: depresión, ansiedad, estrés, esquizofrenia
- **Enfermedades neurológicas**: demencia, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple
- **Enfermedades metabólicas**: obesidad, hiperlipidemia, síndrome metabólico, síndrome de ovario poliquístico, diabetes
- **Enfermedades cardiovasculares**: hipertensión, enfermedad coronaria, insuficiencia cardiaca, apoplejía cerebral y claudicación intermitente
- **Enfermedades pulmonares**: enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, fibrosis quística
- **Trastornos musculoesqueléticos**: artrosis, osteoporosis, dolor de espalda, artritis reumatoide.
- **Cáncer**

No es sólo que el ejercicio sea una medicina para estas enfermedades, sino que su falta es una de las causas más importantes (si no la que más) de su aparición o desarrollo. El sedentarismo es uno de los mayores causantes de mortalidad de las sociedades desarrolladas.

La mejor medicina conocida para mantener y mejorar la función mitocondrial

Como ya vimos, todas las patologías que merman la calidad de vida de muchas de las personas que nos rodean (incluso es posible que la tuya) tienen un marcado componente mitocondrial. Recuerda: todo depende de la energía. Sabemos desde hace décadas que la falta de actividad física conduce a la disfunción mitocondrial y que el ejercicio es el mejor estímulo para mejorarla, tanto a nivel muscular como en el resto de los tejidos del organismo.

La actividad física sigue siendo el mejor estímulo que conocemos para mejorar y mantener la función mitocondrial. Puedes tomar a diario el sol de la mañana mientras meditas tomándote un té verde bendecido por unos monjes tibetanos hecho con agua de manantial siberiano, pero, si no haces actividad física, tus mitocondrias nunca funcionarán al cien por cien.

Las personas activas tienen mitocondrias más sanas que las sedentarias, así de simple. Para que comprendas el impacto del sedentarismo en las mitocondrias, un dato: 9 días de reposo en cama alteran más de 4.500 genes y 34 vías metabólicas mitocondriales. Pero no hay que irse al extremo del reposo total: algunos estudios han puesto de manifiesto cómo la función mitocondrial disminuye hasta en un 25 por ciento después de 14 días de vida sedentaria y hasta el 30 por ciento después de 4 semanas. **La función mitocondrial es como el dinero: cuesta mucho ganarla y muy poco perderla**.

Así que, aunque estés de vacaciones, muévete. No te digo que te mates a hacer ejercicio, pero sí que no te quedes todos tus días de descanso tirado en el sofá, la tumbona o en la barra de un bar. Pasea, juega, practica algún deporte, haz unas flexiones y/o unas sentadillas, salta, baila, coge la bici, nada, recuerda que tienes un cuerpo... Así que ¡úsalo!

Pero no pienses que una hora de ejercicio al día compensa los efectos nocivos en las mitocondrias de un día sentado (en el coche o el transporte público, en el trabajo, en casa...). A cada rato, levántate de la silla y mueve tus mitocondrias. Consume más *snacks* de movimiento y menos de comida.

El poder del ejercicio es tal que su práctica regular contribuye a ralentizar incluso el deterioro mitocondrial propio del envejecimiento. Según algunos estudios, hay personas de 65 años entrenadas que tienen la misma capacidad mitocondrial que jóvenes no entrenados de 28 años.

Múltiples estudios han demostrado que el ejercicio físico mejora la salud mitocondrial por todas las vías posibles:

- **A nivel cardiopulmonar**: El ejercicio físico mejora nuestra capacidad cardiopulmonar, por lo que somos capaces de suministrar oxígeno y retirar dióxido de carbono de una forma más eficiente.
- **A nivel del funcionamiento mitocondrial**: Aumenta la biogénesis mitocondrial; protege el equilibrio entre la biogénesis mitocondrial, la dinámica mitocondrial y la mitofagia; disminuye la producción de ROS; mejora la flexibilidad metabólica; aumenta el número y la funcionalidad de los complejos y las enzimas mitocondriales; mejora el consumo de O_2 mitocondrial; aumenta el reciclaje de lactato... Y así podríamos seguir hasta el infinito y más allá.
- **A nivel muscular**: El músculo esquelético es el órgano más grande de nuestro cuerpo y con un mayor número de mitocondrias, por lo que una musculatura saludable es un indicador de un metabolismo sano.

El músculo como órgano endocrino

Quizá ahora estés pensando: «Vale, Antonio, entiendo que el ejercicio mejore el corazón y los músculos y que ayude a metabolizar el exceso de grasa y glucosa en la sangre, pero ¿cómo consigue mejorar el resto de los parámetros de la salud?». La respuesta a esta pregunta está en las mioquinas.

La importancia del músculo en la salud se debe en parte a que se

comporta como un órgano endocrino capaz de liberar a la sangre una gran cantidad de **compuestos moleculares** beneficiosos llamados «mioquinas» que actúan como hormonas, regulando numerosos procesos biológicos en diferentes órganos y tejidos del organismo, más allá del músculo.

Las mioquinas como la irisina, de la que hablaremos cuando lleguemos a la grasa parda, contribuyen a proteger nuestra salud al mejorar la función de las mitocondrias de todo nuestro organismo, desempeñar un papel antiinflamatorio, aumentar nuestra flexibilidad metabólica (mejorar la oxidación de las grasa, la sensibilidad a la insulina y el desarrollo de grasa parda), fortalecer los huesos, modular el sistema inmunitario, mejorar la función cognitiva y hasta contribuir a suprimir el crecimiento de células tumorales.

Recuerda: cuanto más tiempo dejas de moverte, más privas a **tu cuerpo de esta pócima antienvejecimiento** que es, además, gratuita.

Rehabilitación metabólica

El ejercicio es esencial para cualquier persona, pero más, si cabe, para aquellas poblaciones con enfermedades crónicas donde está involucrada la disfunción mitocondrial. En estas personas, una prescripción individualizada de ejercicio debería ser crucial para poder rehabilitarlas metabólicamente.

Hemos aprendido muchas lecciones de los atletas de élite, que son quienes poseen la función mitocondrial más alta de cualquier ser humano. Si aplicáramos el conocimiento del alto rendimiento en el ámbito de la salud y los problemas metabólicos, se resolverían muchas enfermedades. Si quieres profundizar en este apasionante mundo, no puedo dejar de recomendarte referentes internacionales como Peter Attia, Phil Maffetone o Íñigo San Millán. Como grandes divulgadores en castellano (dando por sentado que me dejo muchos nombres) tienes, por ejemplo, a Javier Butragueño, Claudio Nieto, Luis Berlanga o Sergio Gómez. Todos ellos, en sus canales de YouTube y redes sociales, comparten mucha información de calidad al respecto.

Con este libro yo pretendo aportar mi granito de arena. Es importante hacer hincapié en que si tienes alguna patología de base consultes a tu médico de familia sobre qué tipo de ejercicio puedes hacer. Quizá lo más adecuado sería que contaras con la supervisión de un profesional colegiado y especializado en patologías. Si no puedes permitirte un acompañamiento, al menos permítete una primera sesión de valoración de tu caso.

De todos modos, yo te voy a pedir que camines rápido, que dejes de estar tanto tiempo sentado, que metas ráfagas de ejercicio intenso y que de vez en cuando cargues con cosas pesadas. Es algo que la inmensa mayoría de las personas pueden hacer sin riesgo alguno. Si

tus mitocondrias ya están comprometidas y registras cansancio y poca tolerancia al ejercicio de cierta intensidad, el truco estará en entrenar más suave de lo que puedes, para no forzarlas en exceso. Introduciremos picos de alta intensidad que, al tirar de metabolismo citoplasmático, no sobrecargan nuestras mitocondrias, esquivando así esa zona en la que sufres en exceso.

Te sorprendería ver como personas con fibromialgia, incapaces de correr debido a su baja capacidad mitocondrial, logran hacer unas sentadillas durante un breve espacio de tiempo o unas flexiones con las rodillas apoyadas en el suelo. Es porque estos ejercicios, como quizá recuerdas del tostón que te di con los sistemas energéticos, tiran del sistema glucolítico.

Los ejercicios de fuerza y de alta intensidad suelen llevarlos mejor que los aeróbicos, por lo que tendremos que empezar a trabajar por aquí. Si en la disfunción mitocondrial prima el sistema glucolítico, tendremos que dar caña por aquí, mientras acondicionamos poco a poco la capacidad aeróbica.

En conclusión, una prescripción que no falla es **ejercicio aeróbico suave con momentos de alta intensidad**. Tranquilo, todo esto lo vamos a desarrollar ahora. También podemos hacer uso de los suplementos de magnesio, ribosa y creatina para dar ese plus de energía tan necesario a la hora de ponerse manos a la obra con el ejercicio.

14.3. Aeróbico versus anaeróbico

Después de la turra que te di con los sistemas energéticos en el capítulo 7, no creo que tengamos que profundizar mucho en los conceptos «aeróbico» y «anaeróbico». Simplemente vamos a afianzar algunos conceptos.

El ejercicio aeróbico es el que se abastece de energía mediante el metabolismo mitocondrial, consumiendo oxígeno y capaz de usar como combustibles tanto la glucosa como la grasa. Podemos mantenerlo en el tiempo de manera prolongada, pero sólo para intensidades medias o bajas. En él intervienen sobre todo fibras musculares de tipo I, que son las fibras lentas, con más mitocondrias y, por tanto, aeróbicas.

Ejemplos del ejercicio aeróbico son actividades cardiovasculares como caminar rápido, trotar, ir en bicicleta, remar o nadar.

En el otro extremo tenemos **el ejercicio anaeróbico**, que se abastece de energía mediante un metabolismo citoplasmático, en el que no se consume oxígeno y sólo puede usar a la glucosa como combustible. Es un ejercicio de gran intensidad pero que sólo podemos mantener durante un corto espacio de tiempo, debido a la elevada producción de lactato e iones de hidrógeno. Está impulsado por las

fibras tipo II, las rápidas, con menos mitocondrias pero mayor capacidad glucolítica citoplasmática.

Algunos ejemplos de ejercicio anaeróbico son los ejercicios de fuerza como pesas o flexiones, los ejercicios de alta intensidad (HIIT) o esprintar.

En el ejercicio, como en la vida, no todo es blanco o negro, existe una escala de grises. Por eso, aunque estemos corriendo o montados en una bicicleta, nuestras células también tiran en un porcentaje del metabolismo anaeróbico en función de la intensidad del ejercicio, que viene marcada, en parte, por nuestra capacidad física. Lo que para un ciclista profesional es un ligero calentamiento, para una persona sedentaria puede ser todo lo que es capaz de dar en cuanto a intensidad. Por eso nos toca aclarar qué entendemos por intensidad y desarrollar los conceptos de las «zonas de entrenamiento» y de los «umbrales».

¿Qué entendemos por intensidad?

Podríamos definir la intensidad del ejercicio como la magnitud que relaciona la cantidad de esfuerzo físico realizado por unidad de tiempo. Es algo así como el porcentaje de esfuerzo que estamos llevando a cabo en la actividad física en función de nuestro cien por cien. En otras palabras, la intensidad es igual a la dureza de los ejercicios que realizamos. Las variantes más duras, que implican un mayor esfuerzo, como hacer flexiones con una mano o sentadillas con una pierna son más intensas que hacerlo con las dos. También podemos elevar la intensidad aumentando la velocidad de ejecución del ejercicio.

La intensidad del ejercicio es una medida subjetiva del esfuerzo que implica para ti la actividad física.

Como esta fórmula depende de tu estado, el nivel de esfuerzo que percibes puede ser diferente al de otra persona al hacer el mismo ejercicio. Cuando hablamos de intensidad en la actividad física, la podemos dividir en actividad física de intensidad baja o ligera, moderada, vigorosa y alta.

- Ligera: 10-50 %
- Moderada: 50-70 %
- Vigorosa: 70-80 %
- Alta: 80-100 % (+ del 90 %)

De tu frecuencia cardiaca o de tu percepción de esfuerzo máximo.

Zonas de entrenamiento o esfuerzo

A las distintas franjas de intensidad en las que nos movemos cuando practicamos actividad física también se las llama **«zonas»**. Aunque existen varias divisiones e incluso sus nombres pueden variar en función de dónde provenga la información, todas vienen a representar lo mismo. Los estudios suelen hacer referencia a un modelo de cinco zonas de entrenamiento, divididas por dos umbrales (aeróbico y anaeróbico).

Los dos umbrales representan puntos de transición con cambios fisiológicos muy marcados que tienen que ver con la contribución de los distintos sistemas de energía en cada nivel de intensidad. Son puertas que podemos cruzar si elevamos la intensidad y que hacen que nuestro cuerpo deba actuar diferente para cumplir con el nivel de esfuerzo. De ahí que hablemos de **umbral aeróbico** (separa las zonas 1 y 2 de la 3) y **umbral anaeróbico** (separa la zona 3 de la 4 y 5).

- **Zona 1: intensidad ligera (10-50 por ciento) o zona regenerativa aeróbica.** Más que una zona de entreno, representa la zona del día a día en la que hacemos nuestras actividades cotidianas. Por ejemplo, caminar de forma tranquila.
- **Zona 2: intensidad moderada (50-70 por ciento) o zona aeróbica baja.** La más adecuada para realizar un trabajo aeróbico de larga duración. Como verás después, es la zona ideal para tus mitocondrias y donde usan preferentemente la grasa como combustible.

  Representa una intensidad media-baja en la que nuestro corazón late más de lo normal y respiramos más rápido, pero aún podemos mantener una conversación, aunque con algo de dificultad (lo que se conoce como el test del habla). Estás en ese punto en el que, si tuvieras que esforzarte un pelín más, por ejemplo si aceleraras o el camino se empinara, ya no serías capaz de terminar las frases porque te quedarías sin aliento y tenderías a hablar entrecortado. O, lo que es lo mismo, entrarías en la zona 3.

1. **El umbral aeróbico:** Es el techo de la zona 2, representa la transición entre la zona aeróbica baja y la alta. En este punto, la vía energética anaeróbica comienza a apoyar a las mitocondrias (de manera muy discreta al principio) y se inicia la zona 3 y, con ella, la producción de lactato. Este punto se sitúa aproximadamente al 70 por ciento de intensidad.

- **Zona 3: intensidad vigorosa (70-80 por ciento) o zona aeróbica alta**. La intensidad aumenta. La respiración se vuelve más pesada y la voz tiende a entrecortarse cuando hablamos. En esta zona, el lactato empieza a acumularse en la sangre.

  El techo de la zona aeróbica es el valor conocido como **VO2** máx, que no es más que la capacidad máxima de consumo de oxígeno que podemos mantener en el tiempo o, lo que es lo mismo, es la medida de la capacidad mitocondrial máxima de una persona. Esta magnitud dependerá de la salud mitocondrial de nuestra musculatura, pero también en gran medida de nuestra salud cardiorrespiratoria, ya que serán nuestro corazón (no olvidemos que es un músculo), nuestros pulmones y nuestros vasos sanguíneos los encargados de hacer llegar el oxígeno allí donde se necesite. Recuerda que, sin suficiente oxígeno, nuestras mitocondrias no pueden funcionar de una manera correcta.

2. **El umbral anaeróbico:** Es el punto de mayor intensidad que se puede mantener durante un período de tiempo (más o menos una hora) sin que el lactato se acumule sustancialmente.

- **Zona 4: intensidad alta (80-90 por ciento) o zona anaeróbica baja.** Éste ya es un escalón donde la fatiga aparece de manera manifiesta. Las mitocondrias empiezan la retirada metabólica, entregando el testigo al metabolismo citoplasmático anaeróbico. El lactato y los iones de hidrógeno empiezan a pulular a sus anchas, por lo que no podemos mantener esta intensidad durante mucho tiempo sin tener una pausa de descanso. Ejemplos de esta zona son los entrenamientos por intervalos o los WOD de CrossFit.
- **Zona 5: intensidad máxima (90-100 por ciento) o zona anaeróbica alta.** Es el máximo esfuerzo que pueden tolerar nuestros órganos y músculos. Se trata de un entrenamiento totalmente anaeróbico que debido a su dureza sólo se puede

aplicar en breves períodos de tiempo. Esta zona la representaría una sesión de *sprints* a tu máxima velocidad.

¿Como medimos la intensidad de la actividad física?

Como hemos dicho más arriba, el grado de intensidad de un ejercicio depende de la condición física y del estado de la persona en el momento de ejecución del ejercicio. Pero, si no puedes medirlo, no puedes controlarlo. Por ello tenemos varias herramientas para poder objetivar la subjetividad:

- Escala de esfuerzo máximo percibido
- Frecuencia cardiaca

Método de la escala de esfuerzo máximo percibido

La escala de Borg de esfuerzo percibido de 0 a 10 fue diseñada en 1982 por el fisiólogo sueco Gunnar Borg y en la actualidad aún es altamente recomendada por entidades de prestigio, como la Asociación Americana del Corazón, para medir el esfuerzo que una persona percibe al hacer ejercicio. Esta escala, también conocida como escala de esfuerzo percibido (EEP), nos permite monitorizar la intensidad, para así poder adaptar el ejercicio a nuestras necesidades.

La persona que hace el ejercicio debe asignar un número del 0 (reposo total) al 10 (máximo esfuerzo absoluto). El valor se otorga en función de las sensaciones personales, la percepción del esfuerzo, su frecuencia cardiaca y la velocidad de su respiración, con el fin de representar la sensación subjetiva de la cantidad de trabajo realizado. Por ejemplo, un 65 por ciento de intensidad sería un 6,5 en una escala de esfuerzo máximo percibido.

En palabras de G. Borg: «No es una escala perfecta y se debe utilizar acompañada del sentido común y de otros datos pertinentes de tipo clínico, psicológico y fisiológico».

Método de la frecuencia cardiaca

Una manera más precisa de medir la intensidad es tomando como referencia la relación que se establece entre frecuencia cardiaca máxima y frecuencia cardiaca en reposo e ir estableciendo los porcentajes de intensidad en relación con ellas.

La frecuencia cardiaca en reposo (FCR) es muy sencilla de calcular. El momento idóneo para tomarla es al despertar por la mañana: nos tomamos el pulso y contamos los latidos por minuto. En el caso de utilizar un reloj inteligente con pulsímetro, simplemente hay que observar qué marca en ese momento. Ten en cuenta que hay factores que afectan la frecuencia cardiaca como:

- Estrés
- Enfermedad
- Medicación
- Hora del día
- Comida y bebida (por ejemplo, cafeína)
- Temperatura
- Nivel de hidratación
- Insomnio

La frecuencia cardiaca máxima (FCM) es el límite teórico de trabajo de nuestro corazón. Es una magnitud muy útil, ya que a partir de ella podemos estimar los porcentajes de frecuencia en los que queremos trabajar. La fórmula para conocer la FCM, más conocida y usada, debido a su simplicidad es **FCM = 220–edad**. Así que sólo necesitamos un pulsímetro para poder medir la intensidad a la que estamos trabajando y para comprobar que nos estamos moviendo en unos márgenes seguros. Esforzarnos por encima de nuestra FCM no es muy buena idea en cuanto a salud se refiere.

Ahora que conoces tanto tu FCR como tu FCM, calcular el porcentaje de intensidad y, con ello, la zona de entrenamiento es muy sencillo.

Calcular los valores de una zona de entrenamiento

1. Resta la frecuencia cardiaca en reposo (FCR) a la frecuencia cardiaca máxima (FCM). Esto nos da la frecuencia cardiaca de trabajo (FCT). Supongamos que la primera es 70 y la máxima llega a 172.

$$\text{FCM} - \text{FCR} = \text{FCT}$$
$$172 - 70 = 102$$

2. Para encontrar la zona de intensidad, simplemente hay que utilizar el pulso de trabajo como referencia y calcular el porcentaje de intensidad en el queramos movernos. Por ejemplo, si queremos saber las pulsaciones propias de trabajar al 70 por ciento, hacemos:

$$70\% \text{ de } 102 \text{ (FCT)} = 71$$

3. Para obtener el valor final, al valor que nos haya dado anteriormente tenemos que sumarle la FCR.

$$\text{FCR } (70) + 71 = 141$$

141 pulsaciones por minuto (ppm) sería la frecuencia cardiaca en la que una persona de cincuenta años se tendría que mover para estar

en el 70 por ciento de intensidad si su frecuencia cardiaca en reposo es de 70 ppm. Éste sería el tope de pulsaciones para estar en zona 2 (que se mueve entre el 50 y el 70 por ciento). Si quisiéramos medir el mínimo de pulsaciones de su zona 2, haríamos lo mismo, pero calculando el 50 por ciento a su FCT.

DESCRIPCIÓN		DURACIÓN APROXIMADA
Ligera	10-50 %	> 3 horas
Aeróbica baja	50-70 %	> 3 horas
Umbral aeróbico		3-1 horas
Aeróbica alta	70-80 %	3-1 horas
Umbral anaeróbico		> 1 hora
Anaeróbica baja	80-90 %	5-1 minutos
Anaeróbica alta	90-100 %	2-0,5 minutos

Fuente: Elaboración propia.

14.4. ENTRENAMIENTO POLARIZADO: ZONA 2 + ALTA INTENSIDAD

Si recuerdas, cuando hablábamos de cómo se movían nuestros antepasados, vimos que tenían un patrón de movimiento marcado por largos períodos de actividades aeróbicas de intensidad media-baja (en zona 2), intercaladas con ráfagas de actividad de corta duración y de alta intensidad (zona 4-5). O, lo que es lo mismo, nos pasábamos el día caminando a buen ritmo o trotando suave buscando alimento, pero de vez en cuando teníamos que poner pies en polvorosa para evitar convertirnos en alimento. En algunas ocasiones, dichos patrones de actividad se realizaron con la barriga vacía, usando nuestras reservas de grasa.

La fisiología deportiva ha demostrado que las adaptaciones positivas del entrenamiento mejoran cuando el estímulo se parece mucho al patrón de actividad de nuestros antepasados. Justo esto es lo que están haciendo los mejores entrenadores del mundo en el campo de la resistencia como Phil Maffetone o Íñigo San Millán, con lo que se conoce como «entrenamiento polarizado».

El concepto de la haltera

Una haltera es la típica pesa que se utiliza en halterofilia (significa literalmente «amor a las halteras»), que consta de discos cambiables de metal colocados a ambos extremos de una barra.

El investigador Nassim Taleb utiliza en *Antifrágil*[7] el símil de la haltera para explicar una doble actitud ante la vida que combina dos

extremos que se mantienen separados evitando el centro. Ir a lo seguro en algunos aspectos y asumir muchos riesgos pequeños en otros. Así, combinando sistemas con mayor y menor riesgo en vez de seguir una única estrategia de riesgo moderado, obtendremos mejores resultados. Un símil económico sería alguien que tiene la mayor parte de su dinero invertido en un fondo de bajo riesgo (por ejemplo, bonos de Noruega) y juega con una pequeña cantidad a un riesgo elevado (criptomonedas). Esta persona está mucho más protegida que quien tiene todo su dinero invertido en algo con un riesgo medio (sector inmobiliario).

La estrategia de la haltera en la que **huimos del medio y nos vamos a los extremos**, donde ocurren las cosas que merecen la pena, es la definición perfecta del entrenamiento polarizado en el que combinamos entrenamientos suaves con duros (no a la vez). Aunque, ya que los términos «suave» y «duro» son muy relativos, me toca explicarte bien a qué nos referimos.

Los mejores atletas usan el método 80-20

Analicemos los estudios sobre los métodos de entrenamiento de los mejores atletas de resistencia, cuyo objetivo es maximizar su capacidad aeróbica o, lo que es lo mismo, **llevar al máximo el número y la funcionalidad de sus mitocondrias**. Vemos que todos parecen converger en una distribución típica de intensidad en forma de haltera: el 80 por ciento de sus entrenamientos son de larga duración en la zona 2 (intensidad media-baja) y el 20 por ciento son trabajo de alta intensidad y corta duración.

Los mejores entrenadores a nivel mundial recomiendan mezclar largos entrenos suaves con entrenamientos basados en *sprints*, donde corremos lo más rápido que podamos, como si un león hambriento nos persiguiera.

Podemos usar la experiencia de los mejores entrenadores de mitocondrias a nivel mundial para trasladarla a la persona de a pie, que quiere vivir más y mejor y aumentar sus niveles de energía. En definitiva, dar alegría a sus mitocondrias. Ya tenemos un camino marcado para ello. Para optimizar nuestro motor aeróbico mitocondrial, mejorando así la adaptación a usar grasa como combustible metabólico, lo ideal sería:

- Pasar de 150-180 minutos a la semana en la zona 2 (zona aeróbica baja).
- Dedicar de 50-75 minutos a la semana a las zonas 4 y 5 (zonas anaeróbicas).
- Al menos dos sesiones semanales de entrenamiento de fuerza.

Esta mezcla de entrenamiento en una zona aeróbica con entrenamiento de alta intensidad (HIT) representa el mejor coctel activador de PGC1α y, con ella, de la biogénesis mitocondrial. Por otro lado, la suma del ejercicio de fuerza hará que ganemos masa muscular, el hogar favorito de las mitocondrias.

Otra de las grandes ventajas de entrenamiento polarizado es la mejora del funcionamiento de la **lanzadera de lactato** descubierta por doctor George Brooks. Esto, que tiene un nombre parecido a una nave espacial de *La guerra de las galaxias*, vendría a ser algo así como un sistema que permite el transporte del lactato y de iones de hidrógeno desde las fibras musculares de contracción rápida (tipo 2) a las mitocondrias de las fibras de contracción lenta (tipo 1), donde se usarán como combustible gracias al complejo oxidativo de lactato mitocondrial (mLOC). Esta posibilidad resulta muy interesante para mejorar el rendimiento deportivo de los atletas de élite, pero más si cabe para mejorar la calidad de vida de las personas con disfunción mitocondrial que, como ya sabes, viven en un estado de acidosis crónica.

Beneficios de entrenar en zona 2

El trabajo en zona 2, al aumentar las mitocondrias musculares, mejora la capacidad de quemar grasas y facilita la entrada de glucosa en la célula. Además, incrementará la concentración de glucógeno muscular.

Otro de los beneficios de la zona 2 es la mejora de la flexibilidad metabólica, ya que es donde se da el conocido como FAT MAX o MFO (*maximal fat oxidation*), que implica que las mitocondrias utilizan preferentemente la grasa como combustible y apenas se produce lactato. Por el contrario, al elevar la intensidad y entrar en la zona 3, especialmente en personas con poca capacidad física, nuestras mitocondrias hacen el cambio de sustrato y empiezan a tirar más de glucosa que de grasa.

El entrenamiento en la zona 2 aumenta tanto el número como la funcionalidad de nuestras mitocondrias. Sumado al estupendo entrenamiento cardiovascular que representa, nos ayuda a aumentar el VO_2 máx sin necesidad de trabajar casi a nuestro límite aeróbico. Algo muy importante que debería terminar de convencerte es que, según los estudios, el entrenamiento en la zona 2, gracias a sus beneficios metabólicos, mejora la longevidad de las personas que lo practican.

El entrenamiento en la zona 2 construye la base para cualquier otra cosa que hagas en la vida.

Antes te he mostrado los cálculos, basados en la frecuencia cardiaca, para permanecer en la zona 2 durante el ejercicio. Aunque sin duda su resultado es más preciso, el test del habla también nos puede servir como muy buen indicador. En la zona 2 aún podemos mantener una conversación, aunque con algo de dificultad, así que un ejercicio demasiado suave (el típico paseo de escaparate o el trote «cochinero») no resulta retador para tus mitocondrias y, por lo tanto, no se producirán adaptaciones beneficiosas.

La recomendación de pasar de 150-180 minutos a la semana en zona aeróbica baja puede parecerte algo demasiado complicado de cumplir, pero, si te paras a pensar, son apenas 25 minutos al día. Lo mejor de todo es que no tienes por qué hacerlos todos seguidos. Cualquier dosis de movimiento, por pequeña que sea, cuenta. Por eso, en realidad, esta recomendación es lo **mínimo** a lo que deberías aspirar y no la meta que alcanzar.

Ideas para pasar más tiempo de tu día en la zona 2

- Dedica tiempo a practicar actividades físicas como trotar, remar, ir en bicicleta, nadar, caminatas vigorosas (mejor en entornos naturales)...
- Eleva el **NEAT** (*Non-Exercise Activity Thermogenesis*): toda la actividad física no programada que realizas a lo largo del día (caminar, subir y bajar escaleras, hacer las tareas de casa...).
- Siempre que te sea posible, prioriza el caminar como medio de transporte.
- Si usas el coche, aparca un poco más lejos (también vale para los aparcamientos de los centros comerciales).
- Si vas en metro o autobús, camina por el andén mientras esperas o bájate una parada antes y camina el último tramo.
- Usa más las escaleras y menos el ascensor o las escaleras mecánicas (aunque sea para bajar).
- Convierte las tareas del hogar de un ejercicio-juego. Cronometra lo que tardas en hacer la cama o barrer la casa e intenta batirte. Al *gamificar* estas actividades,[8] por un lado, te serán más llevaderas y, por otro, las harás más rápido (¡espero que no peor!) y, con ello, aumentarás la actividad de tus mitocondrias.
- El famoso objetivo de los 10.000 pasos al día está genial, pero si se caminan de forma vigorosa.

Entrenamiento en la zona 3 (entre umbrales)

No quiero que te lleves la idea de que entrenar **en la zona 3** es un error o que es perjudicial para tu salud. Al contrario, es mucho mejor entrenar en la zona 3 que no entrenar. Lo que ocurre es que hacerlo entre umbrales (que, dicho sea de paso, es lo que hace la mayoría), no es lo óptimo si quieres mejorar la función de tus mitocondrias. A las mitocondrias les encantan los largos valles coronados de esporádicos e imponentes picos y no tanto la meseta metabólica que significa un ejercicio entre umbrales en una zona aeróbica alta (zona 3). Pero, si tu objetivo es simplemente mantener una resistencia cardiovascular aceptable (correr 5-10 kilómetros sin morir en el intento) o tienes poco tiempo para entrenar, adelante.

Si tus mitocondrias están perezosas, mantener un ritmo medio alto durante 30, 45 o 60 minutos puede resultarte una tortura china. Más aún si la disfunción mitocondrial ha ido más allá y existe un trastorno metabólico, un estado de fatiga crónica o un cuadro de fibromialgia. Te va a ser imposible mantener este tipo de entrenamientos. Corres el riesgo de convertirte en esa persona que sale a correr por pura motivación pero con un esfuerzo tan elevado que tan pronto como la motivación desaparece, abandona. En estos casos, cuando la función mitocondrial se encuentra alterada, sin duda tus mitocondrias agradecerán la visión polarizada del entrenamiento.

14.5. Profundizando en la alta intensidad

Beneficios de la alta intensidad (zonas 4 y 5)

Existe una correlación positiva muy fuerte entre un alto volumen de ejercicio en la zona 2 y la densidad y la funcionalidad de nuestras mitocondrias, pero trabajar sólo en la zona 2 es quedarnos en la zona de confort mitocondrial. Nuestras queridas amigas necesitan vidilla, estímulos potentes, y eso justo es lo que nos dará el ejercicio de alta intensidad, con el que mejoraremos nuestra generación de potencia, el VO_2máx y la biogénesis mitocondrial.

El HIIT: la alta intensidad por excelencia

El entrenamiento con intervalos de alta intensidad es conocido como «interválico», HIIT (*high intensitive intermittent training*), «de circuitos» o «entrenamiento metabólico». Todos giran en torno al mismo principio en que los **períodos de alta intensidad van seguidos de descansos breves**. Ésta es la mejor forma, según la ciencia, de exprimir al máximo los beneficios de la alta intensidad.

El método Tabata

El HIIT fue popularizado en 1996 por el doctor japonés Izumi Tabata

al comprobar los beneficios de un entreno de tan sólo 4 minutos alternando intervalos de 20 segundos de alta intensidad en una bicicleta estática con descansos de 10 segundos, 5 días a la semana durante 6 semanas. Esta táctica se demostró superior en la mejora de la capacidad aeróbica a un entrenamiento tradicional aeróbico de una hora de ejercicio a media intensidad (70 por ciento) en la misma bicicleta estática. Además, el grupo del HIIT mejoró su capacidad anaeróbica en casi un 30 por ciento, mientras que los del entrenamiento tradicional no la mejoraron nada. Este protocolo se popularizó como el **«método Tabata»** y consta de ocho ciclos de:

- 20 segundos a (tu) máxima intensidad
- 10 segundo de descanso
- 4 minutos en total

Elementos clave del HIIT

El entrenamiento interválico tiene tres elementos clave:

- **Intensidad**: entre el 80-100 por ciento de tu capacidad. Para los principiantes es mejor más cerca del 80 por ciento que del cien por cien.
- **Volumen**: cantidad de trabajo total (tiempo total y número de repeticiones del ejercicio). El volumen es inverso a la intensidad, por eso en HIIT no se suelen usar grandes volúmenes. Normalmente oscilan entre 4 y 20 minutos.
- **Proporción trabajo/descanso**: relación entre el tiempo de ejercicio y el de recuperación. Por ejemplo, el método Tabata utiliza una ratio 2:1 (20 segundos de esfuerzo y 10 segundos de descanso); quizá una ratio demasiado potente para alguien que se inicia.

Si te vas a iniciar en el HIIT, te recomiendo prudencia. Empieza con una ratio trabajo/descanso bajo, algo como 1:4. Por ejemplo, 15 segundos de ejercicio y 60 segundos de recuperación.

Para establecer el tiempo de recuperación al principio, lo mejor es sin duda el pulsímetro. Por ejemplo, esfuerzo elevado durante 15 segundos, en los que tus pulsaciones subirán a 170-180 (recuerda que nunca deben subir más de la ecuación de «220 – tu edad»), y un descanso hasta que bajen a 120-130, de forma que te asegures que has recuperado de verdad.

Una sesión de HIIT

Una sesión de HIIT estándar debe contemplar tres partes:

1. Empezar con un calentamiento ligero de unos 5-7 minutos como correr o pedalear a baja intensidad.
2. Intervalos: trabaja a máxima intensidad durante 15-20 segundos y recupérate durante un minuto, caminando o pedaleando de nuevo a baja intensidad. Repite 6-8 veces.
3. Termina con otros 5-7 minutos de cardio ligero.

A la hora de elegir ejercicios para introducir en una sesión de HIIT, podemos optar por ejercicios puramente aeróbicos como esprintar o la bicicleta estática u otros ejercicios corporales con un componente de fuerza como las flexiones, las sentadillas, los *jumping Jacks*, el escalador o el *swing* con una pesa rusa (*kettlebell*).

Jumping Jacks

Consisten en saltar separando los pies y elevando los brazos por encima de la cabeza, para luego volver a la posición inicial. Los pies deben estar separados a la anchura de los hombros y las manos detrás de la espalda. Cuanto más rápido cambies de postura, más intenso será el ejercicio.

Si eres un usuario de gimnasio y te van los aparatos de cardio, en ellos puedes incorporar trabajo interválico para maximizar tus resultados.

Cinta

En mi experiencia como fisioterapeuta, se trata de un aparato bastante lesivo para el tren inferior, porque son muy comunes las sobrecargas musculares y articulares. Si la usas, te recomiendo que utilices más la inclinación que la velocidad para añadir intensidad.

Bici estática

Aunque es bastante antinatural aislar el esfuerzo en el tren inferior, la bici estática es una forma segura y efectiva de experimentar con la alta intensidad. De hecho, es el ejercicio utilizado en muchos de los estudios. Es menos lesiva que la cinta y representa una opción muy viable para mejorar la función de tus mitocondrias y dejar de usarla como perchero.

Elíptica

Permite involucrar en la alta intensidad el miembro superior y el

miembro inferior. Sin duda resulta mejor opción que las anteriores y es la más segura a nivel de lesiones, pero es más exigente que la bici estática.

Remadora

Personalmente, creo que es la mejor opción de todas, porque su patrón de movimiento es el más funcional y el que engloba más músculos, pero es la más dura.

Mejor opción	**Peor opción**
Máquina de remo > Elíptica > Bicicleta estática > Cinta	

Entrenamiento SIT

El líder del HIIT es, sin duda, el *sprint*, una cualidad evolutiva que nos permitió cazar nuestra comida y evitar se cazados. El SIT (*sprint interval training*) o, lo que es lo mismo, ejercicio interválico a base de *sprints*, ha demostrado ser una herramienta práctica y muy sencilla para mejorar de una forma potente la función mitocondrial.

En un estudio de ocho semanas se utilizó un entrenamiento interválico de *sprint* (SIT) tres veces por semana basado en una fórmula de SPRINT 30/180, en el que se hacen 30 segundos a tope intercalado con 180 segundos a ritmo tranquilo para recuperar, repitiéndolo varias veces (entre 5-10). Las conclusiones demostraron que era más efectivo a la hora de mejorar la función mitocondrial que entrenar tres veces por semana carrera continua en la zona 3.

El *sprint* requiere de coordinación, elasticidad y fuerza. Sin ellas, puede ser muy lesivo, por lo que no debería ser utilizado a una intensidad muy alta al principio. A mis pacientes les suelo recomendar empezar con intervalos mucho más bajos, con tan sólo 3 segundos, y que vayan subiendo poco a poco a medida que nos vayamos adaptando a 6, 10, 15, 20, 25 y hasta llegar a los 30 segundos.

Una manera muy buena para iniciarse en los *sprints* es hacerlos estáticos. Correr al máximo sin movernos del sitio puede ser una gran activación mitocondrial. Te recomiendo que tengas una postura erguida, que contraigas la musculatura abdominal y que eleves las rodillas. Ésta es una buena manera de ponerle la guinda a tus entrenamientos diarios y, por qué no, de activarte cada mañana.

El entrenamiento 10-20-30 de Gunnarsson & Bangsbo

El 10-20-30 es un entrenamiento de alta intensidad que ha demostrado ser una de las mejores formas de mejorar la salud mitocondrial en muy poco tiempo. Además, se demostraron mejoras en los niveles de colesterol y en la presión arterial de los participantes.

Se estructura en cinco bloques de un minuto de carrera de intensidad creciente, seguidos de dos minutos de descanso. Se repite tres o cuatro veces, hasta llegar a los 15-20 minutos totales. Cada bloque de un minuto consta de:

- 30 segundos a baja intensidad (< 30 %)
- 20 segundos a media intensidad (< 60 %)
- 10 segundos a alta intensidad (> 90 %)

Si tu condición física no te da para hacerlo corriendo, puedes empezar caminando. Lo importante es que empieces a hacerte amigo de la alta intensidad.

¿Por qué es efectivo el HIIT?

Aumentar la intensidad de los ejercicios mejora la salud. Así lo demostró, entre otros, un estudio de seguimiento de más de 54.000 personas de toda condición, que confirmó que la intensidad del ejercicio está asociada con una menor prevalencia de hipertensión, hipercolesterolemia y diabetes. De ahí que **la Asociación Americana del Corazón recomiende dos sesiones semanales de ejercicio de alta intensidad**.

Una pregunta muy razonable que te puede aparecer es cómo la alta intensidad va a mejorar la función del corazón y de nuestros pulmones, la salud de las mitocondrias y el uso de grasa como combustible si con ella usamos el metabolismo anaeróbico. Es decir, usa todo lo contrario (no necesita oxígeno y consume glucosa fuera de la mitocondria). Ésta es una duda muy lógica que tiene fácil respuesta.

La clave está en que los picos de alta intensidad suponen un gran estrés para nuestra musculatura, para nuestro corazón y para nuestros pulmones, que se ven desbordados por la dureza que les exigimos. Como no quieren volver a sufrir, lo que hará el organismo será fortalecerse aumentando tanto las mitocondrias como la capacidad de meter oxígeno y sacar CO_2. Esto lo hace con cuatro vías principales:

- **Estimula la producción de hormonas** como catecolaminas y hormonas tiroideas que aumentan la función mitocondrial.
- **Estimula la biogénesis mitocondrial**.
- **Aumentan la producción de mioquinas**.
- **Gasto energético postentreno (EPOC)**. Cómo es lógico, después de hacer ejercicio, las reservas de ATP de nuestras células se ven

mermadas. La forma que tiene nuestro cuerpo de reponerlas es poniendo a nuestras mitocondrias a trabajar quemando grasa, para lo cual, como ya sabes, se requiere oxígeno. Por ello se llama EPOC (*Excess Post Exercise Oxygen Consumption*). Esto supone una mayor actividad mitocondrial en reposo y por lo tanto un mayor metabolismo basal.

Riesgos del HIIT

Cuando escuchamos las palabras «alta intensidad», automáticamente se nos viene a la cabeza un esfuerzo límite que puede tener un riesgo elevado para ciertos colectivos como personas sedentarias, obesas o con patologías del corazón. Pero lo cierto es que siempre que las cosas se hagan con un mínimo de sentido común, podemos decir que el entrenamiento HIIT es seguro e incluso beneficioso para estas personas.

Si tienes algún problema de salud, lo primero que tienes que hacer es hablar con tu médico o un profesional cualificado que te aconseje sobre lo que puedes hacer y lo que no. Partiendo de aquí, una de las cosas por las que el HIIT es seguro es porque la intensidad la marca la propia persona. Por ejemplo, una intensidad del 80 por ciento para una persona será andar a paso alegre y para otra correr rápido.

Como ya hemos visto la alta intensidad oscila entre el 80 por ciento y el cien por cien. Al principio lo ideal será movernos más cerca del 80 por ciento, porque si nuestro cuerpo no está preparado para la intensidad es fácil que si nos colamos nos provoquemos alguna lesión muscular. Pero, como decimos, con sentido común es una forma muy segura de entrenar. Hay estudios sobre su eficacia y seguridad en personas de más de 65 años, en personas sedentarias, en personas obesas e incluso en personas que ya habían sufrido un infarto cardiaco. Lo importante es hacerlo con sensatez y consultar a un experto si tu estado lo necesita.

Si sufres de algún problema de salud, especialmente del corazón, antes de empezar cualquier ejercicio, consulta con tu médico.

El estudio más importante hasta la fecha en lo que respecta a la **seguridad de los HIIT** se llevó a cabo en Noruega entre los años 2004 y 2011, con un seguimiento de casi 5.000 pacientes en rehabilitación cardiaca. No encontró riesgo relevante en las actividades de alta

intensidad, concluyendo lo siguiente: «Considerando las significativas adaptaciones cardiovasculares asociadas al ejercicio de alta intensidad, éste debería ser considerado en pacientes con enfermedad coronaria».

Alta intensidad (zonas 4 y 5) en pequeños *snacks*

Una de las principales razones que esgrimimos a la hora de no hacer ejercicio es la falta de tiempo. En realidad, más que de tiempo, el problema es de prioridades. Quizá deberíamos intentar priorizar nuestra salud por encima de otras actividades, pero esto nos daría para otro libro... Así que, en vez de pedirte que te replantees la vida, que dicho sea de paso es algo muy necesario (vale, ya lo dejo), mi labor va a ser ponértelo tan fácil que ya no te queden excusas.

¿Qué pensarías si tu médico te dijera que haciendo de lunes a viernes dos tandas de 2 minutos de ejercicio físico vigoroso podrías reducir en un 40 por ciento tu riesgo de enfermedad cardiovascular y hasta en un 27 por ciento tu riesgo de mortalidad?

Un estudio publicado en la revista académica *European Heart Journal* en 2022, en el que se siguió durante siete años a casi 72.000 adultos (62,5 años de edad media), puso de manifiesto que con una dosis mínima de 15 minutos de actividad física vigorosa a la semana acumulada en pequeños *snacks* de 2 minutos se podría reducir la mortalidad por todas las causas y el riesgo de cáncer en un 15 por ciento. Ampliar ese tiempo sólo 5 minutos más, hasta los 20 a la semana, podría reducir el riesgo de enfermedades cardiacas en un 40 por ciento. En el estudio se encontró el punto óptimo para la salud en aproximadamente 50-60 minutos por semana, donde se reduciría en un 36 por ciento el riesgo de muerte por cualquier causa. ¿Qué pastilla o qué medicina de las que forman parte del arsenal de farmacia podría aportar esos resultados?

Uno de los descubrimientos más singulares del estudio fue comprobar que la actividad física intensa no necesitaba acumularse en períodos prolongados para obtener beneficios para la salud. Según el estudio:

- Dosis mínima: 1 *snack*/día de 2 minutos × 7 días = 14 minutos semanales.
- Dosis buena: 2 *snacks*/día de 2 minutos × 7 días = 28 minutos semanales.
- Dosis óptima: 4 *snacks*/día de 2 minutos × 7 días = 56 minutos semanales.

Snacks de movimiento

Ir hasta el gimnasio, dejar tus cosas en la taquilla, calentar, entrenar, estirar y terminar con una ducha. Para la mayoría, la barrera que supone el tiempo y el esfuerzo necesarios para esta rutina se convierte en un impedimento insalvable.

Si te dijera que, en vez de tener que reservar una hora de tu día para entrenar, pudieras aprovechar los minutos de tiempo muerto que aparecen durante el día para introducir ráfagas cortas de actividad física vigorosa, integrando el entrenamiento con el resto de nuestras actividades cotidianas, se acabarían muchas de tus excusas. Bienvenido a los *snacks* de movimiento.

Para una persona sedentaria o que, aunque practique algún deporte, pase muchas horas sentada, pequeñas dosis de ejercicio en forma de *snacks* repartidos a lo largo del día aportan grandes beneficios para nuestra salud. Por supuesto que esto no será la dosis de ejercicio ideal, pero al menos será la dosis mínima efectiva.

Un poco de ejercicio intenso es mucho mejor que nada.

Los *snacks* de movimiento se inspiran en el concepto de las rutinas de alta intensidad por intervalos, sólo que los descansos son más largos (incluso de horas). Los períodos de ejercicios siguen siendo cortos, en forma de ráfagas de actividad física vigorosa que se repiten varias veces a lo largo del día.

¿Qué nos dice la evidencia científica sobre las bondades de estos *snacks* tan particulares?

Rompen el sedentarismo

Según los estudios, todos los beneficios que nos aporta entrenar los famosos 180 minutos por semana en la zona 2 son anulados por el efecto nocivo de permanecer más de 5 horas al día sentados. El tiempo que permanecemos sentados, ya sea en el trabajo o en casa viendo la televisión, daña nuestro metabolismo y perjudica seriamente nuestra salud.

El efecto perjudicial de pasar demasiado tiempo sentados no se compensa con el ejercicio físico realizado tras una larga jornada de trabajo sentados. Sí existe una manera de borrarlo: levantándonos y moviéndonos con intensidad durante 30-60 segundos (depende de la intensidad). **Un *snack* de movimiento borra el efecto negativo de permanecer una hora sentados**, así que no dejes que las horas se acumulen dañando tu salud y rómpelas con sentadillas, flexiones, subiendo y bajando las escaleras rápido...

Mejoran el metabolismo

El profesor Martin Gibala, uno de los mayores investigadores de los beneficios para la salud de los *snacks* de movimiento, ha publicado multitud de artículos con resultados muy alentadores. En uno de ellos observó que la salud de nuestras mitocondrias podía mejorar simplemente con diez *sprints* de un minuto, intercalados con un minuto de descanso, en una bicicleta estática tres veces a la semana.

En otro estudio de intervención sobre adultos jóvenes sedentarios demostró que tres *snacks* diarios de subir vigorosamente tres tramos de escaleras (sesenta peldaños en total) separados por entre 1 y 4 horas de recuperación y repetidos sólo tres veces por semana mejoraban un 5 por ciento su consumo máximo de oxígeno y, por lo tanto, su función mitocondrial. Otro estudio similar demostró que 30 segundos subiendo escaleras de forma vigorosa cada hora durante una jornada laboral de 9 horas sentado mejoraba el control de la glucosa.

Mejoran la fuerza

Aunque no deberías esperar milagros, el concepto de *snack* de movimiento puede aplicarse a ejercicios de fuerza.

Un artículo puso de manifiesto que, en personas de más de 65 años, tan sólo 30 segundos de sentadillas y 30 segundos de flexiones contra la pared (1 min/día de ejercicio de fuerza) durante 12 semanas mejoraron su fuerza y la masa muscular.

Así que, cada vez que tengas ocasión durante el día, márcate unas sentadillas y/o unas flexiones. Si al principio eso es mucho para ti, no hay problema, póntelo fácil. Siéntate y levántate de una silla y haz las flexiones contra la pared, apoyando las rodillas en el suelo o las manos en una silla.

Nanoentrenamientos

El concepto de nanoentrenamiento es muy sencillo. Se trata de **encadenar varios *snacks* de movimiento en un pequeño circuito de ejercicios** para lograr un estímulo mayor. Es una manera interesante de trabajar la alta intensidad en tan sólo 5 o 10 minutos.

Un ejemplo puede ser este circuito basado en 2-3 rondas de:

- 15 sentadillas
- 20 segundos de *jumping Jacks*
- 10 flexiones
- 20 segundos de *sprint* en el sitio
- 30 segundos de plancha abdominal

Si lo necesitas, descansa 10-20 segundos entre rondas. Y si sólo

puedes hacer una ronda, sigue siendo mejor que nada.

Entrenamiento en ayunas

Si quieres maximizar la biogénesis mitocondrial, te recomiendo que introduzcas en tu rutina algún entrenamiento en ayunas. Cuando el glucógeno en nuestro organismo está bajo, por ejemplo, tras pasar entre 8-12 horas sin haber comido y hacemos ejercicio, obligamos a nuestras mitocondrias a quemar más grasa, además de **aumentar la biogénesis mitocondrial (marcada por PGC1α)** respecto a entrenar con glucógeno elevado.

Según los estudios, nuestra capacidad mitocondrial mejora como adaptación al entrenamiento en ayunas gracias a:

- Un aumento de la biogénesis mitocondrial: más mitocondrias, de mayor tamaño y más funcionales.
- Un aumento de la vascularización de los tejidos (conocida como angiogénesis) que mejora la llegada de oxígeno y combustibles energéticos.
- Una mejora de la flexibilidad metabólica en el concepto de máxima oxidación de grasa.

Un consejo: tanto la cafeína como la tirosina magnifican el efecto del ejercicio en ayunas.

14.6. Recomendaciones finales de ejercicio y mitocondrias

Terminemos de hablar de ejercicio y mitocondrias recalcando que el ejercicio aeróbico en la zona 2 aumenta las mitocondrias, pero este efecto se magnifica si añadimos a la ecuación el ejercicio de alta intensidad y el entrenamiento de la fuerza.

Recuerda que el ejercicio físico no compensa los efectos dañinos de la vida sedentaria, por lo que resulta obligatorio si quieres mejorar tu salud que incorpores abundantes *snacks* de movimiento que rompan el tiempo sedentario y que tengas una vida lo más activa posible. Y, como dice Javier Butragueño: «Si comienzas desde cero, mejor con supervisión de un profesional colegiado y especializado en patologías, no gurús del *fitness*».

Para optimizar nuestro **motor aeróbico mitocondrial**, mejorando así la adaptación a usar grasa como combustible metabólico, lo ideal es:

- **Pasar entre 150-180 minutos a la semana en la zona 2 (zona aeróbica baja).**
    - Camina más y más rápido (mejor en la naturaleza).
    - Ten una vida más activa.
    - Muévete en ayunas.
- **Dedicar entre 50-75 minutos a la semana a las zonas 4 y 5 (zonas anaeróbicas).**
    - Personalmente, tras investigar profundamente al respecto y basándome también en mi experiencia, te recomiendo dos sesiones diarias de ejercicio. Seguro que estás pensando que no tienes tiempo, pero la realidad es que el tiempo se tiene si se quiere y, además, no tienes excusa porque puedes hacer dos sesiones de sólo 10 minutos (o incluso menos si en una de ellas te marcas un Tabata).
    - Entrenar en HIIT: diez *snacks* de movimiento intenso de un minuto al día.
- **Al menos dos sesiones semanales de entrenamiento de fuerza.**
    - El ejercicio de fuerza es esencial para la salud, porque nos ayudará a ganar masa muscular, un hogar perfecto para nuestras mitocondrias.
    - Por no extender más el contenido del libro, he preferido no profundizar en la ganancia de fuerza y funcionalidad muscular. Afortunadamente, existen divulgadores como Pedro Vivar y Josué Tarí que hablan largo y tendido de ello. Ellos han creado la programación neuromotriz (PNM), **un innovador sistema de entrenamiento y capacitación física enfocado en la mejora del movimiento humano** y que entiende el cuerpo como un todo que funciona de forma orquestada. La PNM permite incluir el entrenamiento en cada acción cotidiana para aprovechar toda la biomecánica del cuerpo a favor de nuestro bienestar físico y mental. Te recomiendo mucho su libro y todo lo que publican al respecto en sus redes sociales.

15

Somos hijos de las estrellas

Paramahansa Yogananda contaba en su libro *Autobiografía de un yogui*[9] la historia de Giri Bala, quien decía llevar más de cincuenta años sin comer ni tomar líquidos. Conocida como la yoguini que nunca come, afirmaba que su nutrición procedía de las sutiles energías del aire, la luz del sol y el poder cósmico que recargaba su cuerpo. Esta misteriosa mujer aseguraba que mediante la meditación había desarrollado la capacidad de captar esta energía, conocida como *prana*, en una cantidad suficiente que le permitía nutrirse exclusivamente de ella.

No soy tan *flower power* como para creerme a pies juntillas este relato, pero quizá cuando termines de leer este capítulo comprenderás que la buena de Giri Bala tenía algo de razón. Es posible que te quedes tan alucinado con las cosas que te voy a contar como me pasó a mí al conocerlas por primera vez.

Según algunas teorías, la vida llegó a nuestro planeta en forma de primitivas bacterias (parientes cercanas de nuestras mitocondrias), viajando en asteroides. Sea cierto o no, lo que es incuestionable y a la vez poético es que todos estamos formados, como decía Carl Sagan, de polvo de estrellas. Todos los elementos que componen cada una de nuestras células provienen del *big bang*. Podríamos decir que somos algo así como «polvo de estrellas con pretensiones». Sea como sea, la verdad es que nuestras células se benefician con la exposición a las energías del cosmos y, en particular, a las de nuestro astro rey, el sol.

15.1. Helioterapia: las curas de sol

El sol es fuente de vida y energía y, por ello, la helioterapia, usar al sol como medicina, ha sido utilizada desde la Antigüedad. Existen referencias de cómo ya desde el antiguo Egipto, la Grecia clásica o la antigua Roma recomendaban el sol y el ayuno como medio de sanación.

Si piensas que la afirmación de que la luz puede ser curativa cae de lleno en el terreno de la pseudociencia y el «magufismo», déjame hablarte de varias investigaciones. El doctor islandés Niels Finsen recibió el Nobel de Medicina en 1903 por sus trabajos de investigación en el campo de la fototerapia llevados a cabo en la Universidad de Copenhague, en los que, entre otros éxitos, demostró los beneficios de la fototerapia en pacientes con lupus.

Mención especial merecen también las investigaciones de Auguste

Rollier, que en la década de 1900 fundó el proyecto Solaria, una serie de edificios que se extendieron por toda Suiza, diseñados para optimizar la exposición a la luz solar, con el propósito expreso de que las personas que los habitaban tomaran el sol para mejorar su salud. Estas curas de sol se mostraron beneficiosas a la hora de ayudar a combatir la tuberculosis, la viruela e incluso enfermedades crónicas como el lupus o la artritis. Las experiencias del doctor Rollier le llevaron a publicar en 1914 el libro titulado *La cura de sol*.

Como ves, llevamos más de 120 años de investigaciones científicas de calidad que enfatizan el uso de la luz como medicina. Y es que, como verás más adelante, el uso de determinadas longitudes de onda o colores modulan la actividad de las células de nuestro cuerpo, incluido el cerebro.

Es posible que pienses que el sol sólo sirve para hacer crecer las lechugas y que, más allá de la vitamina D, que podemos compensar con un suplemento, el sol sólo nos trae arrugas y quemaduras. Y no te culpo. La industria cosmética lleva años difundiendo este mensaje interesado que ha permeado tanto en nuestro cerebro que ya lo damos por cierto.

Es verdad que nosotros no tenemos cloroplastos como las plantas y que, por lo tanto, no podemos hacer la fotosíntesis, por mucho que la buena de Giri Bala se empeñara en ello. Pero tenemos unas primas hermanas de los cloroplastos: nuestras mitocondrias. Y, para ellas, el sol es uno de los refuerzos más poderosos de nuestro arsenal para una salud y un bienestar óptimos.

Sin embargo, la vida moderna nos ha alejado del astro rey con nefastas consecuencias para nuestra salud. La exposición insuficiente al sol puede ser responsable de 340.000 muertes en Estados Unidos y 480.000 muertes en Europa por año, además de una mayor incidencia de cáncer de mama, cáncer colorrectal, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer, autismo, asma, diabetes tipo 1 y miopía.

En nuestras manos está volver a la senda de la luz. Sentirse revitalizado con el sol de la mañana o al contemplar un atardecer no es algo aleatorio y cada vez tenemos más evidencia científica que lo respalda.

Parte del poder curativo del sol radica en su belleza (alimento para nuestra alma), pero también en su radiación (alimento para nuestras mitocondrias).

15.2. Luz: entre la física y la biología

La naturaleza de la luz es tan compleja que todavía trae de cabeza a los físicos más brillantes de la humanidad. Es más, la luz no se puede explicar desde la física clásica, ya que los fotones, las partículas elementales que la componen, no tienen masa, por lo que tenemos que recurrir a la física cuántica para poder aproximarnos a su naturaleza inmaterial y verlos como partículas de naturaleza electromagnética.

Pero como no hemos venido a adentrarnos en física cuántica, simplificaremos hasta definir la luz como energía emitida de forma natural por las estrellas como el sol, que se traslada a través del espacio por medio de fotones en forma de onda electromagnética. La luz vibra en dos campos, uno eléctrico y otro magnético.

La luz visible es la única parte del espectro que nuestros ojos son capaces de captar a través de fotorreceptores, generando señales eléctricas que se transportan a través del nervio óptico hasta nuestro cerebro para que las procese. Pero existen otras longitudes de onda de luz que no son visibles para el ojo humano y que seguro que te suenan, como la luz ultravioleta o los infrarrojos.

La luz vibra en distintas frecuencias, generando unas ondas de distinta longitud. Una mayor frecuencia de vibración genera ondas más cortas e inquietas, mientras que las más lentas generan una mayor longitud de onda. El espectro de radiación solar que llega a la Tierra se divide de la siguiente manera: 6,8 por ciento UV, 38,9 por ciento luz visible y 54,3 por ciento radiación infrarroja cercana (NIR).

La frecuencia de vibración de las ondas electromagnéticas es importante porque determina el color que percibimos. El rango de longitud de onda del espectro visible es 400-700 nanómetros. En las frecuencias más altas están los violetas, en las más bajas los rojos y en el medio todos los demás, un degradado continuo de colores desde el violeta hasta el rojo, exactamente igual que en un arcoíris. Lo que se conoce como luz blanca es en realidad una **superposición de luces de los distintos colores que componen el arcoíris**.

Por encima y por debajo de las que nuestro ojo es capaz de captar, hay todo un mundo de frecuencias. Como su mismo nombre indica, más allá de nuestra ventana de percepción, están los ultravioletas o UV (por encima del violeta) y los infrarrojos (por debajo del rojo) y muchas cosas más. Con frecuencias inferiores a los infrarrojos están las microondas (como las que usamos para cocinar) o las ondas de televisión, radio o móvil.

Esto es muy importante, ya que cada longitud de onda de energía causa un efecto biológico diferente en nuestro cuerpo y, por supuesto, en nuestras mitocondrias. Además, las **diferentes longitudes de onda de luz penetran nuestros tejidos a diferentes profundidades**. Las luces de onda corta, como la azul y la ultravioleta, no penetran fácilmente en el tejido más allá de la zona superficial de la piel. Por el

contrario, las luces de onda larga, como la roja y los infrarrojos, son mucho más profundas y llegan incluso hasta el hueso y la médula ósea.

¿Cómo impacta la luz en nuestra biología?

Nikola Tesla solía decir que «si quieres entender el universo, piensa en energía, frecuencia y vibración». Eso mismo podríamos decir para nuestra salud.

La razón de que la luz tenga efectos poderosos en tantos aspectos diferentes de nuestra biología es que tiene la capacidad de comunicarse directamente con nuestros genes, modificando su expresión, e indirectamente con nuestro cerebro, al ser convertida en señales eléctricas. Esto se traduce en una cascada de vías biológicas que nos llevan a producir diferentes hormonas, neurotransmisores y otras sustancias bioactivas que modifican el funcionamiento de nuestro organismo e impactan en aspectos tan importantes como la regulación del sueño, el funcionamiento de nuestro sistema inmunitario, la función mitocondrial, la regeneración de los tejidos, nuestro estado de ánimo e incluso nuestra longevidad.

Piensa en la luz como un comunicador de lo que sucede en el entorno que nos rodea, para que nuestro cuerpo responda en consecuencia.

Dada la magnitud de este tema, voy a centrarme en los factores que inciden en nuestras amigas las mitocondrias. Antes de indagar más, recuerdo lo más esencial que acabamos de ver:

1. La luz es energía electromagnética.
2. La luz tiene multitud de longitudes de onda diferentes.
3. Cada longitud de onda penetra en los tejidos a una profundidad diferente: a mayor longitud de onda, mayor profundidad.

Simplificando mucho, la luz impacta en nosotros a través de la piel, que se comportará como un órgano endocrino liberando sustancias en respuesta a qué tipo de luz le impacte. De forma indirecta, responderá mandando la información lumínica al cerebro a través de las terminaciones nerviosas cutáneas o estimulando los fotorreceptores del ojo, que mandarán una señal hasta nuestro

cerebro, que obrará en consecuencia. **Pero todo comienza con la absorción de una longitud de onda particular de la luz**.

La luz a lo largo del día

Cuando la luz del sol alcanza la atmósfera de la Tierra, los fotones de luz interactúan con las moléculas de los gases que se encuentran en ella, actuando como un prisma, que dispersa y separa la luz blanca en sus diferentes colores. Esto, sumado a la curvatura de la Tierra y las distintas velocidades del espectro de ondas lumínicas, hará que la cantidad de cada tipo de luz que recibamos varíe a lo largo del día.

Como las luces azul y UV (ultravioleta) viajan en ondas más rápidas (cortas y pequeñas), se esparcen más que el resto de las ondas, haciendo que veamos el cielo de color azul. Cuanto más directa sea la exposición o, lo que es lo mismo, cuanto más alto esté el sol en el cielo (más perpendicular a la Tierra), mayor cantidad de luz azul y de luz UV tendremos. Por eso, a mediodía el cielo es más azul y el sol calienta más.

Ahora bien, cuando el sol se encuentra más tangencial a la Tierra, cuando está más bajo, la cantidad de atmósfera que tiene que atravesar la luz solar es mayor y mayor por tanto es la dispersión que sufrirá tanto la luz azul como la UV en todas las direcciones. Sin embargo, la luz roja e infrarroja, al tener longitudes de onda más largas, anchas y lentas, cobrará más protagonismo. Eso ocurre temprano por la mañana, cuando el sol sale por el horizonte, y también a medida que va cayendo la tarde y el sol va bajando. Para nuestro ojo, implica que llegará más cantidad de luz roja e infrarroja que de azul y UV. Por eso vemos el cielo rojo o anaranjado (el naranja tiene una onda muy similar a la roja). Esto no significa que por la mañana no recibamos luz azul ni rayos UV, pero sí que nos llega con menor intensidad.

Cuanto más directo nos da el sol, más UV y menos infrarrojo recibimos.

Dada su importancia a nivel biológico, nos centraremos en la luz ultravioleta, la luz azul (y en su ausencia) y las luces roja e infrarroja.

15.3. Luz roja

Es muy posible que durante tus vacaciones hayas decidido madrugar algún día para contemplar un amanecer en la playa. Y qué decir de esas puestas de sol sobre el mar, ¿verdad? A nadie se le escapa la

belleza del cielo rojizo del amanecer y el atardecer. Pero ¿por qué nos resultan tan atractivos? ¿Será una llamada de la madre naturaleza? Quizá... Ahora lo veremos.

Según la filosofía budista, tanto el amanecer como el atardecer son los mejores momentos del día para meditar, ya que representan dos puntos energéticos de inflexión del día en los que las células del cuerpo se transforman. Según la ciencia, razón no les falta. ¿A que no adivinas quién está detrás de esta magia energética? Exacto, nuestras amigas las mitocondrias, activadas por los fotones de la luz roja e infrarroja que son más abundantes en esas horas. El momento ideal para recibir esta luz sanadora es la primera hora tras el amanecer, obteniendo también beneficios en las dos horas siguientes.

La luz roja es la de mayor longitud de onda de todo el espectro visible, ya que oscila entre los 620 nm y los 760 nm. Muy cerca del espectro de la luz roja se encuentra la luz infrarroja (760 nm-1 mm), que constituye aproximadamente el 40 por ciento de la radiación solar que llega al suelo a nivel del mar. La luz infrarroja es muy similar a la luz roja, con la diferencia de que tus ojos no pueden verla, pero tu cuerpo sí puede sentirla. Dentro de los infrarrojos, los más estudiados son los fotones del infrarrojo cercano también conocido como «NIR», por sus siglas en inglés (*NEAR INFRARED*), que son los de longitud de onda más corta (NIR o IR-A: 760-1.400 nm) y, por lo tanto, más similares a la luz roja.

Tanto con la luz roja como con la infrarroja no te puedes broncear ni quemar, pero eso no quiere decir que no genere numerosos efectos biológicos en nuestro organismo. Mientras que la luz roja se queda en la superficie y resulta muy beneficiosa para la piel, cabello y ojos, la infrarroja puede penetrar hasta 7 cm de profundidad, con lo que consigue alcanzar tejidos, articulaciones y órganos internos.

Para el doctor Hamblin, investigador principal en el Centro Wellman de Fotomedicina en el Hospital General de Massachusetts y profesor asociado en la Escuela de Medicina de Harvard, **las luces roja e infrarroja son el nutriente olvidado**.

Luz roja y mitocondrias

Si alguna parte de nuestro cuerpo se ve beneficiada por la luz roja y la infrarroja, ésa sin duda es la mitocondria. Nuestras viejas amigas son capaces de absorber los fotones de la luz roja/NIR y mejorar así su capacidad de producir ATP.

El mecanismo de acción para que esto suceda es múltiple. El complejo IV (citocromo c oxidasa) de la cadena de electrones hace la función de panel solar, captando la energía que aumentará la velocidad de trasporte de electrones y la eficiencia de la ATP sintasa, la nanoturbina generadora del ATP. Todo el proceso reduce la

producción de radicales libres, por lo que conseguimos **más energía y más limpia**.

670 nm y 790 nm: las ondas mágicas

Del amplio espectro en el que vibran las luces roja e infrarroja del sol, hay dos longitudes de onda que son las más abundantes y tienen unos efectos biológicos mayores: los 670 nm de luz roja y los 790 nm para la luz infrarroja. Cuando hablamos de luz roja y mitocondrias, es en estas dos longitudes de onda donde sucede la magia. De hecho, la mayoría de los estudios clínicos enfatizan la luz roja de 670 nm y la luz NIR de 790 nm como las más efectivas y sinérgicas para activar las mitocondrias, que son las más usadas en los sistemas médicos de luces roja e infrarroja también conocidos como «fotobiomodulación», de los que hablaremos más adelante.

Sin duda, la longitud de onda de 670 nm, en la intersección entre la luz roja y NIR, parece ser la que más gusta a las mitocondrias. Estudios sobre sujetos animales concluyeron que la exposición diaria a luz infrarroja cercana de 670 nm elevaba la capacidad mitocondrial de producir ATP a la vez que reducía la inflamación. Estos datos preliminares han sido demostrados en estudios de intervención en personas.

En un estudio muy interesante que se llevó a cabo con moscas de la fruta (*Drosophila melanogaster*), se comprobó que aquéllas a las que se las exponía diariamente a una lámpara NIR de 670 nm vivían hasta un 175 por ciento más que las que no eran expuestas. Puedes pensar que no nos parecemos en nada a las moscas y claro que tienes razón, pero, en esencia, ellas están compuestas de células con mitocondrias como nosotros. Si esta terapia extiende la longevidad y la salud de sus células, debería hacer lo mismo con las nuestras. Aunque los beneficios fueran muy modestos, cuando se trata de vivir más y mejor, todo suma.

Las plantas amplifican los fotones NIR

Las plantas reciben la misma luz solar que nosotros. Sin embargo, sus hojas sólo absorben la luz visible y la UV para realizar la fotosíntesis, mientras que reflejan la luz infrarroja. Estar cerca de la naturaleza siempre sumará a nuestro favor, debido a, entre otros factores, su capacidad de amplificar la radiación infrarroja para que sea aprovechada por nosotros.

Posiblemente vivas en una gran ciudad con pocas zonas verdes. Si es así, seguro que piensas que, aunque esta información es fenomenal, no es para ti. Nada más lejos de la realidad: haz lo que puedas con lo que tengas. Llena tu vida de plantas, cuantas más hojas verdes y grandes tengan, mucho mejor para que sirvan de paneles infrarrojos.

Es importante que sepas que los cristales de las ventanas impiden el paso de la mayor parte de radiación infrarroja, así que lo ideal es que, si quieres tomar el sol de la mañana en casa, salgas al balcón, a tu patio o a la terraza. Si lo haces desde una ventana, debes abrirla. Si en esos momentos de tomar el sol en tu casita estás rodeado de plantas, aumentarás los beneficios de la medicina solar.

15.4. Luz roja, agua y mitocondrias

La vida es agua bailando al son de los sólidos.

SZENT-GYÖRGYI, fisiólogo

En esencia, somos millones de vesículas de grasa rellenas de agua con minerales y proteínas disueltas, en las que flotan estructuras que cumplen funciones gracias a la energía aportada por diminutas centrales energéticas, todo ello funcionando al servicio de la creación más increíble del universo, el ADN. Dentro de estas vesículas, a las que llamamos células, ocurren millones de reacciones químicas y eléctricas que en su conjunto se llaman «vida». En resumen, agua con cosas disueltas, esto que parece muy sencillo, ha traído a la comunidad científica de cabeza durante años. Veamos el porqué.

Si estas cosas flotan en el agua, ¿por qué parecen estar cada una en su sitio? Si hay proteínas que en un principio no pueden disolverse en agua, ¿por qué sí lo hacen dentro del agua de la célula? ¿Acaso el agua del interior de la célula es un tipo de agua especial? Gracias a los trabajos del doctor Gerald Pollack en la Universidad de Washington, sabemos que es así. La estructura interior de la célula se debe, en parte, a lo que se conoce como «agua estructurada». ¿Y dónde está la fuente de esta increíble agua? Exacto, una vez más, en nuestras mitocondrias.

Casi todos sabemos desde pequeños que H_2O hace referencia a que cada molécula de agua consta de dos hidrógenos y un oxígeno, formando una especie de V. También sabemos que esas moléculas de agua pueden unirse entre sí a través de enlaces más fuertes o más débiles haciendo que podamos encontrar el agua en tres estados o fases: sólido (el hielo tiene los enlaces más fuertes), líquido y gaseoso (los enlaces más débiles). Lo que no todos sabíamos es que esto no es del todo verdad, ya que no son tres fases, sino cuatro.

Gracias a los estudios del doctor Pollack, recogidos en su libro *La cuarta fase del agua*[10] y que también puedes ver en la charla TEDx, *Agua, células y vida*, sabemos que existe la llamada «cuarta fase del

agua», en la que está estructurada.

Mientras que el agua líquida es un batiburrillo de moléculas sin orden alguno, en el agua estructurada, aun siendo líquida, sus moléculas presentan una estructura más organizada que forma hexágonos entre los que se crean unas cargas electromagnéticas características conocidas como **«zonas de exclusión»**. Éstas hacen que los orgánulos se encuentren en un orden estable, que nuestras mitocondrias funcionen de una manera más óptima y que ciertas proteínas se encuentren disueltas en el agua.

Según el doctor Pollack, «el agua estructurada dentro de las células es crucial para la salud». Cuando se reduce la cantidad de agua estructurada dentro de la célula, ni sus orgánulos ni sus mitocondrias pueden funcionar de una manera correcta. Además, en este contexto de deshidratación estructural celular, ciertas proteínas que deberían estar disueltas como la alfasinucleína, la proteína TAU y la beta-amiloide, se solidifican generando agregados que aumentan la viscosidad de la célula y pueden predisponer a cáncer, hígado graso, diabetes, aterosclerosis, envejecimiento acelerado y enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Parkinson o la enfermedad de Alzheimer.

¿Cómo se forma el agua estructurada?

Para generar agua estructurada y asegurarnos el entorno ideal dentro de nuestras células, necesitaremos asegurarnos de que existen a la vez varios elementos: una buena hidratación, una buena función mitocondrial, presencia de luz infrarroja y algo que veremos más adelante a lo que llamamos *grounding*.

Buena hidratación

Para generar agua estructurada, necesitamos agua. Una buena hidratación es esencial para una función óptima de las mitocondrias, no en vano uno de los primeros síntomas de deshidratación es el cansancio. Sin tener en cuenta edad, peso, actividad física o temperatura, nuestro cuerpo necesita alrededor de 2 litros de agua al día.

Una buena fuente de agua estructura son las verduras de hoja verde como la espinaca, el kale, la rúcula, las acelgas, los canónigos... Sus hojas están cargadas de cloroplastos, los primos hermanos vegetales de las mitocondrias, encargados de realizar la fotosíntesis y, por lo tanto, llenos de agua estructurada. Los vegetales ecológicos tienen más cantidad de agua estructurada, ya que reciben la luz del sol sin el filtro de los plásticos de los invernaderos y no son tratados con pesticidas como el glifosato, que reducen la cantidad de agua estructurada de los vegetales, y por ello también de las personas que

los consumen.

Otro de los beneficios de las verduras de hoja verde es su contenido en magnesio, elemento químico al que le deben su color. Éste es un mineral esencial que facilita la entrada del agua en la mitocondria.

Otra forma es beber directamente agua estructurada, ya que sus propiedades han llevado a la industria a crear modernos sistemas de estructuración de agua. Pero, sinceramente, a día de hoy, me resulta algo controvertido sugerirte que pongas tu dinero en este tipo de sistemas. Si bien me resultan muy interesantes, no hay evidencia real de que ingerir agua estructurada (fuera de la que existe de forma natural en las verduras) tenga los mismos beneficios que la que se genera en el interior de las mitocondrias. Donde sí te recomendaría que gastaras algo de dinero es en un sistema de purificación del agua, porque, aunque el agua que nos llega a casa es potable y podemos beberla..., no tiene por qué ser saludable.

El agua del grifo está cargada de pesticidas, metales pesados y microplásticos, además de flúor. Todos ellos son veneno mitocondrial. Incluso el mismo cloro, que es el que se añade en la planta potabilizadora para eliminar bacterias, es un problema para nuestra microbiota y para tus mitocondrias, ya que ellas también son bacterias. Su efecto acumulado, vaso tras vaso, día tras día, acaba por socavar la salud de diferentes órganos, incluido tu cerebro y muy especialmente tu tiroides, la reguladora central de la función mitocondrial de nuestro organismo. Como le escuché decir a Núria Coll: «Tenlo claro: si no filtras el agua, el filtro eres tú».

Muchas familias compran agua embotellada, pero ésta no es una opción medioambientalmente responsable. Además, el plástico de la botella tampoco la convierte en saludable, por lo que la mejor opción es la de purificar el agua del grifo. Para ello existen **sistemas sofisticados como el de ósmosis inversa** o puedes emplear una solución más económica e igualmente eficaz como una jarra purificadora.

Casi todas las jarras purificadoras funcionan haciendo pasar el agua por un cartucho filtrante y por otro que contiene materiales granulares que retienen los compuestos no deseados. La gran diferencia está en la calidad de los filtros, ya que algunos sistemas usan resinas químicas como el divinilbenceno (mezcla de benceno y estireno), mientras otros, como los de la marca española Alkanatur, usan un filtro de activado de coco natural que es mucho mejor. Además, este filtro añade magnesio al agua que bebes, por lo que el beneficio es doble.

Un consejo de amigo: no hay nada mejor para hidratarnos que empezar el día con un buen vaso de agua filtrada con malato de

magnesio y un poquito de limón. En mi caso, aprovecho para darle un plus a mis mitocondrias y, en vez de agua a secas, me preparo un té verde con limón y, por supuesto, magnesio.

Buena función mitocondrial

Como ya vimos, como resultado de la fosforilación oxidativa, junto con el ATP se genera CO_2 y agua, pero no cualquier agua. Buena parte del agua metabólica es agua estructurada que la mitocondria vierte cual fuente al interior de la célula. El metabolismo aeróbico hidrata nuestra célula desde dentro, por lo que todo lo que beneficie a nuestras mitocondrias beneficiará la producción de esta agua tan especial. Y al contrario también: el metabolismo anaeróbico mantenido en el tiempo, al llevarse a cabo en el citoplasma, nos priva de la producción de agua estructurada mitocondrial. Además, la reducción del pH generado por la liberación de $H+$ dificulta la entrada de agua en la célula.

En esencia, la buena actividad mitocondrial nos hidrata y la acidosis metabólica deshidrata tus células.

Algo interesante aquí es que el metabolismo de las grasas produce mucha más agua que el de la glucosa. Para que te hagas una idea: nuestras mitocondrias producen 110 g de agua por cada 100 g de grasa y sólo 60 g por 100 g de carbohidratos. Otro motivo más por el que perder el miedo a las grasas y movernos hacia la ansiada flexibilidad metabólica. En un estudio muy interesante llevado a cabo por el doctor Pollack, se demostró que las grasas que generaban más agua metabólica eran la mantequilla clarificada conocida como *ghee* y el aceite de coco, dos grasas muy saludables para nuestras mitocondrias.

Luz infrarroja

La luz NIR del sol tiene una doble función en el suministro de agua estructurada, ya que por un lado es capaz de estructurar el agua celular y, por otro, es capaz de activar nuestras mitocondrias, mejorando la cantidad de agua estructurada que producen.

Según algunos estudios muy interesantes, existen algunos principios activos presentes en plantas, como **la curcumina** de la cúrcuma y la **epigalocatequina-3-galato (EGCG)** presente en el té verde, que amplifican el efecto de las luces roja e infrarroja a la hora de aumentar la producción del ATP, reducir el estrés oxidativo y

mejorar la producción de agua estructurada en la matriz mitocondrial. Así que ya sabes: parece una buena a la vez que deliciosa idea empezar el día con una infusión de té verde y cúrcuma disfrutando de los primeros rayos de sol de la mañana.

Grounding

Del *grounding* hablaremos un poquito más adelante, pero por ahora quédate con la idea de que la Tierra tiene un campo electromagnético que facilita la estructuración del agua celular. Conectarnos con el suelo (*ground*, en inglés) con los pies descalzos sobre hierba o tierra o bañarnos el mar, en ríos o lagos nos recarga de la energía que regala la Tierra.

En resumen, los modernos sistemas de producción de agua estructurada son por ahora prometedores pero opcionales. Céntrate en lo esencial: ejercicio, grasas saludables, luz infrarroja, contacto con la naturaleza, magnesio y agua filtrada.

¿Qué factores afectan en negativo a la producción de agua estructurada? Te lo contesto en tres palabras: **la vida moderna**. Vivir desconectados de la naturaleza, la disfunción mitocondrial, la deficiencia de magnesio, el agua de mala calidad, los herbicidas y el *electrosmog* o contaminación electromagnética de la que hablaremos más adelante son, entre otros, grandes enemigos del agua estructurada.

Luz, agua estructurada y melatonina: sinergias antiguas en un mundo moderno

Como ya hemos visto, la luz NIR nos abastece de agua estructurada y protege nuestras mitocondrias por el día. Pero ¿qué es lo que ocurre durante la noche? Aquí es donde entra en acción la melatonina, para salvaguardar nuestra salud constituyendo una sinergia milenaria con la luz NIR, que asegura un flujo constante de agua estructurada.

La relación sinérgica entre la melatonina, el agua y la luz pudo haberse originado hace más de 2.500 millones de años, cuando los organismos unicelulares primitivos dependían de esta sinergia efectiva y precisa para evitar la agregación de proteínas que las haría colapsar. Observamos esta sinergia en organismos tan simples como las arqueas, que son capaces de generar su propia melatonina.

Quizá relaciones la melatonina con el sueño y razón no te falta. Pero esta molécula es muy polifacética y llega a comportarse también como una sustancia antiinflamatoria, regeneradora y como un antioxidante hasta diez veces más potente que la vitamina C. Reduce la formación de especies reactivas de oxígeno, mejora la función mitocondrial para mantener la temperatura corporal durante la noche y asegurar la energía necesaria para que acontezcan los procesos

reparadores a nivel celular.

Estas múltiples funciones hacen de la melatonina una molécula versátil e importante. Su deficiencia se asocia con una variedad de trastornos como enfermedades neurodegenerativas, trastornos cardiometabólicos, osteoporosis, dolor crónico, cáncer e incluso el envejecimiento.

Algo que quizá te suene es que la melatonina es producida en una zona del cerebro conocida como «glándula pineal» durante la noche, en ausencia de luz, por lo que se la conoce como «la expresión química de la oscuridad». Y es la responsable de regular el ciclo sueño-vigilia. Lo que quizá no sepas es que la mayor parte de la melatonina no se produce en el cerebro, sino en las células del cuerpo incluso durante el día como molécula reparadora, también a nivel intestinal con la participación de una microbiota saludable. Además, existen alimentos que contienen melatonina.

Según la evidencia, la radiación infrarroja cercana (NIR) promueve la producción de melatonina extrapineal. Sigamos con los acertijos, porque seguro que ya te estás imaginando en qué parte de la célula se produce la mayor cantidad de melatonina. Exacto: en la mitocondria.

Esta melatonina, generada a partir de la acetil coenzima A, no se libera a la sangre, por lo que no tiene efectos en el sueño. En su lugar, se queda en la mitocondria cumpliendo funciones tan importantes como proteger el ADN mitocondrial, mejorar la producción de ATP, eliminar radicales libres, activar la biogénesis mitocondrial (PGC-1α), regular la dinámica mitocondrial (fusión, fisión y mitofagia), activar las sirtuinas y, por supuesto, favorecer la estructuración del agua celular.

La luz roja mejora la producción de melatonina

Como ya hemos visto, las luces roja e infrarroja estimulan la producción de melatonina mitocondrial, pero esta maravillosa radiación también nos puede ayudar a calmarnos y mejorar el sueño. Te explico el porqué.

Nuestra piel, en contacto con la luz roja/NIR, responde liberando serotonina, la hormona del bienestar, del buen humor y antidolor. Por sí mismo, esto ya es muy interesante, pero tiene otro beneficio extra: la serotonina, en ausencia de luz (por la noche), se convierte en melatonina. Mientras que el sol de la mañana nos aporta bienestar, al caer la tarde, cuando el sol vuelve a estar bajo en el cielo, sus rayos nos volverán a aportar serotonina. Ésta nos ayudará a relajarnos y, cuando caiga la noche, favorecerá la síntesis de melatonina y, con ella, un sueño reparador.

Contemplar el atardecer no sólo es beneficioso por el impacto de

la luz sobre nuestra piel. A nivel ocular, la luz roja del ocaso manda un poderoso mensaje a nuestro cerebro: «¡Está anocheciendo!». Es hora de comenzar el proceso de transición **al sueño**.

Es obvio, pero merece la pena señalarlo: contemplar el atardecer no debería molestar en los ojos, ni forzarnos a mirar con los ojos entrecerrados. Si es así, aún es demasiado brillante para mirarlo con seguridad y deberás esperar a que el sol baje un poco más para que sea seguro.

En resumen, para que nuestro cuerpo sintetice melatonina, son necesarios los fotones NIR durante el día y la oscuridad durante la noche.

15.5. Terapia de luces roja e infrarroja cercanas

¿Qué me dirías si la ciencia hubiera conseguido generar las ondas terapéuticas tanto de luz roja como de luz infrarroja del sol en un aparato que puedes usar en la comodidad de tu casa? Pues existe: bienvenido a la fotobiomodulación.

La terapia de luz roja, también conocida como «terapia con láser de bajo nivel» (LLLT), «terapia de luz de onda larga» (LLT) o «fotobiomodulación» (PBM), es una terapia diseñada para utilizar el poder de la luz roja y del infrarrojo cercano (NIR) para estimular a nuestras mitocondrias y, con ellas, el poder curativo del cuerpo.

¿Cómo funciona la terapia de luz roja?

La terapia de luz roja no es otra cosa que la exposición de tu cuerpo (piel y ojos) a la luz roja o la luz infrarroja emitida por un aparato durante unos minutos por sesión.

Normalmente, estos aparatos operan a longitudes de onda entre 650-680 nm para la luz roja y entre 710-790 nm para la luz NIR. Como vimos, las longitudes de 670 nm y 790 nm resultan las más efectivas, no sólo de un modo superficial, sino por ser capaces de penetrar en niveles profundos de tejidos, órganos y huesos. Su acción activa, además de la función mitocondrial en todas estas zonas, los sistemas antioxidantes (el famoso glutatión) y antiinflamatorios endógenos. Además, se estimula la producción de colágeno y se aumenta la vascularización en tejidos y órganos, con lo que se potencia la producción de energía, la recuperación y la regeneración de nuestro organismo.

Este tipo de terapia abarca muchos mecanismos de acción. Aunque muy efectiva, es sólo una herramienta y nunca podrá tapar el agujero en la salud que generan unos malos hábitos. Como todo en la

vida, para ver resultados positivos, necesitarás constancia y paciencia, ya que deberás usarla a diario un mínimo de 5-20 minutos, durante varias semanas o meses seguidos.

Beneficios de la terapia de luces roja e infrarroja

Según diversos estudios, la terapia de luz roja muestra beneficios significativos para los siguientes propósitos:

- Reduce dolores agudos y crónicos, tanto articulares como musculares.
- Tiene un efecto antiinflamatorio.
- Proporciona neuroprotección.
- Estimula la producción de colágeno, lo que se traduce en una piel, unas articulaciones y unos huesos más saludables.
- Actúa sobre problemas de piel como acné, dermatitis atópica, eczemas, atópica, psoriasis y rosácea.
- Mejora el estado de ánimo y tiene un efecto relajante.
- Proporciona un sueño de mayor calidad.
- Mejora la salud ocular: miopía, degeneración macular...
- Ayuda en la recuperación muscular postejercicio.
- Recuperación poscirugía.
- Optimiza la cicatrización de heridas.
- Mejora la salud de la tiroides. Aunque no tengas ninguna patología, te beneficiarás de optimizar la función de la gran reguladora de nuestro metabolismo.

¿Es segura la terapia de luz roja?

Como ya hemos dicho antes, con **exposición media de entre 5 a 20 minutos al día**, se pueden obtener todos sus beneficios sin padecer ningún riesgo. De hecho, al utilizar niveles muy bajos de calor, no puede dañar ni quemar la piel. Otra cosa es que lo utilices durante horas y horas seguidas el mismo día; por efecto acumulativo, sí que podría dañar tu piel.

Por supuesto, el aparato que utilices tiene que ser de máxima calidad y debe emitir en las longitudes de onda óptimas para obtener resultados terapéuticos beneficiosos. Recuerda que éstas van desde los 630 nm hasta los 850 nm, siendo las dos más estudiadas la luz roja de 670 nm y la infrarroja de 790 nm. Lo ideal es que emita tanto luz roja como NIR de forma simultánea. Si sólo aporta luz roja, no penetrará en los tejidos más profundos.

Un consejo de amigo es que tengas cuidado al elegir el aparato. Que no te engañen quienes comercializan bombillas convencionales tintadas de color rojo a precios elevados, intentando colarlas como

bombillas de terapia de luz roja. Algunas marcas de confianza serían Red Light Rising, EMR-TEK y Bon Charge.

Si decides comprar un sistema de emisión de luz NIR, también puedes usarlo para iluminar agua durante unos minutos y generar así agua estructurada antes de consumirla. No está científicamente demostrado que el cuerpo la asuma de la misma forma que la que crea internamente, pero no perderás nada por probarlo.

En conclusión, la fotobiomodulación imita **muchos de los beneficios de las luces roja e infrarroja del sol**. Activa nuestras mitocondrias, nos proporciona calma y bienestar, mejora la salud de la piel, la musculatura, las articulaciones y otras partes del cuerpo. Aunque recuerda esto: nunca será un sustituto del sol.

Si quieres tener buena salud, es necesario que te expongas a todo el espectro de la luz del sol.

Exponernos al sol de forma natural sigue siendo la herramienta más efectiva y fácil de la que disponemos. Por lo tanto, podríamos decir que el saludo al sol temprano por la mañana o quedarnos en la playa hasta el atardecer son, en realidad, los mejores tratamientos de fotobiomodulación que existen.

15.6. Luz ultravioleta y vitamina D

Cuando hablamos de luz ultravioleta (UV), en realidad estamos hablando de tres tipos de luces: los rayos ultravioleta A, B y C. Como estos últimos no llegan a la superficie de la Tierra, ya que son absorbidos por la capa de ozono atmosférica, nosotros sólo hablaremos de los dos primeros:

- Los rayos UVA atraviesan fácilmente la atmósfera, alcanzando toda la superficie terrestre. Son capaces de penetrar más profundo en la piel, pero son biológicamente menos activos.
- La longitud de onda de los rayos UVB es corta, por lo que tienen más dificultad para atravesar la atmósfera. Llegan con facilidad a la zona ecuatorial, pero su alcance se va reduciendo de manera exponencial a medida que se eleva la latitud. Son biológicamente muy activos y fundamentales para la producción de vitamina D y la activación de respuesta neuroendocrina.

La mala fama de los rayos ultravioleta

La radiación que no tiene energía suficiente para alterar el ADN se conoce como «radiación no ionizante». Ejemplos de este tipo de radiación son la luz visible, el infrarrojo, las microondas y las ondas de radio. En el otro extremo está la radiación ionizante, como los rayos X y gamma, con energía para generar mutaciones en nuestro ADN. Entre estos dos rangos se encuentra la radiación ultravioleta (UV), ya que una exposición inadecuada a ella puede causar quemaduras solares, lunares e incluso dañar el material genético de las células ocasionando cáncer de piel.

Sin embargo, desde una perspectiva evolutiva, **no tiene sentido pensar que el sol es malo por naturaleza**. El sol es tan indispensable para la vida como el agua o el oxígeno. En su dosis adecuada es una poderosa medicina. Así que, en vez de temerlo, tenemos que reconciliarnos con él.

Recuperar nuestro idilio con el sol

El pobre sol se siente despechado. La mayoría de las personas lo ven como un tórrido amor de verano y, durante el resto del año, si te he visto, no me acuerdo. Por eso se venga de nosotros achicharrando nuestra piel; no es de «aquí te pillo, aquí te mato», sino de relaciones estables. Cuanto más fieles le seamos a lo largo del año exponiéndonos a él de manera continua, mejor nos tratará en verano. Así, tras varios meses de exposición gradual, habremos entrenado nuestra piel desarrollando un saludable bronceado, nuestro protector natural contra lesiones graves (melanoma).

Otra cuestión importante que debes tener presente es tu tolerancia al sol. Si eres rubio, de ojos azules y de piel clara, tus ancestros vienen del norte, por lo que genéticamente tendrás menos tolerancia a la exposición al sol. Tómalo con frecuencia y en dosis pequeñas. Cuando tu piel empiece a enrojecerse, habrás tenido suficiente.

Lo más importante es evitar las quemaduras, cuya aparición continuada supondrá un daño excesivo al ADN que se relaciona con mayor riesgo de melanoma.

¿Y qué te protege de las quemaduras solares? Una exposición continua, gradual y controlada según tu tolerancia hará que no necesites una crema de protección solar, aunque sí recomiendo usarla en la cara, al ser la zona más sensible y expuesta.

Si te expones más allá de tu tolerancia, aunque parte de la

exposición la hagas sin protector, te beneficiaría usar uno de calidad sin filtros químicos como parabenos, cinamatos (metoxicinamato de octilo), canfenos (4-methylbenzylidene camphor), bezonfenonas (benzofenona), otros como el homosalato, octocrileno o el meroxil o nanopartículas como el dióxido de titanio (NANO) y en óxido de zinc (NANO). Este tipo de sustancias son tóxicas para ti, para tus hormonas, para tus mitocondrias y para el medio ambiente.

La luces roja e infrarroja protegen tu piel de las quemaduras

Los estoicos solían decir que la verdadera felicidad estaba en vivir acorde con la naturaleza. Yo no sé si te hará más feliz, pero desde luego sí que te hará estar más sano. Desnaturalizar la vida humana, compartimentándola y fragmentándola, no tiene ningún sentido. Por eso, lo de salir a tomar el sol a media mañana sin haber recibido antes una dosis de luz roja no tiene sentido para nuestra genética y, por lo tanto, nuestro cuerpo no responde a ello de manera adecuada.

La doble capacidad estimuladora y regenerativa que tiene la luz roja/NIR es aplicable a cualquier tejido humano, desde nuestras mitocondrias, hasta nuestra piel. No debe extrañarte que la piel de las personas que reciben la luz de la mañana y la del atardecer tolera mucho mejor la radiación UV del día. Según algunos estudios, la exposición a la luz solar por la mañana temprano, rica en fotones NIR, podría preparar la piel en un proceso llamado «fotoprevención» para la radiación UV del mediodía.

Beneficios de la luz UVB

Tradicionalmente, la comunidad científica ha considerado la vitamina D la principal responsable de los beneficios del sol y en especial de la luz UV. Pero esto no representa toda la verdad, ya que sus beneficios van mucho **más allá de la vitamina D**, como hemos visto con la luz roja.

Ahora toca presentarte a tus amigos los melanocitos, un tipo de células que se encuentran tanto en la piel como en el ojo y que se encargan de absorber la luz UVB y generar reacciones ante ella. La más evidente es producir melanina, el pigmento que nos protege del sol bronceándonos.

Cuando la luz ultravioleta es captada por el melanocito, activa la función endocrina de la piel, produciendo hormonas a partir del colesterol como **beta endorfinas, proopiomelanocortina (POMC) y vitamina D** (que en realidad es una hormona). Además, estimula el eje piel-cerebro-gónadas que llevará a una mayor producción de **hormonas sexuales (testosterona y estrógenos)**. Todo ello se traduce, entre otras cosas, en una mejor función del sistema inmunitario, mayor fertilidad y libido, mejor control del ciclo hambre-

saciedad, mejor regeneración de los tejidos, mejor estado de ánimo, bienestar y menos dolor.

Otra de las sustancias que se libera en respuesta a la luz UVB es el **óxido nítrico**, una molécula vasodilatadora que mejora la circulación sanguínea, reduce la presión arterial y mejora la oxigenación de los tejidos y, por tanto, la función mitocondrial.

Por todo ello, y no sólo por la vitamina D, debes exponer tu piel al sol cada día. La franja óptima para absorber la dosis curativa de luz UVB va **desde las 10.00 a las 16.00 horas, con una duración media de 20 a 30 minutos**, dependiendo de tu color de piel, cantidad expuesta (cuanta más piel mejor), estación, hora y latitud. Si no puedes todos los días, intenta que sea al menos un mínimo de 3 veces por semana. Como regla general, no dejes que la piel se llegue a enrojecer.

Vitamina D y mitocondrias

La vitamina D y su relación con la salud es un campo tan extenso que nos daría para un libro. De hecho, ya existe uno y, por cierto, muy bueno. Así que yo me voy a limitar a darte unas pinceladas y, si quieres profundizar en la materia, lee *Vitaminados*,[11] de María Hernández Bascuñana.

Aunque la llamemos vitamina, en realidad, la D es una hormona. Tanto el ADN nuclear como el mitocondrial tienen receptores para la vitamina D, lo que quiere decir que es capaz de modular la función de distintos genes y tiene un papel importante en la salud ósea, el sistema inmunitario, la función cognitiva, la salud hormonal, la prevención de distintos tipos de cáncer y, por supuesto, en la función mitocondrial.

Sabemos que las mitocondrias, sobre todo, las que se encuentran en los músculos, tienen muchos receptores de vitamina D. Cuanta menos vitamina D tienen a su disposición, menos energía son capaces de producir, de ahí que una deficiencia de vitamina D genere fatiga y dolor generalizado.

Si quieres activar tus mitocondrias, una de las primeras cosas que tienes que hacer es normalizar tus niveles sanguíneos de vitamina D. La vitamina D sanguínea se mide como 25-OH-Vitamina D y deberíamos aspirar a tener unos niveles por encima de los 45 ng/ml.

		[illegible]		
		[illegible]		

La mejor fuente es el sol, al exponer cara, brazos y piernas directamente y no a través de las ventanas entre las 10.00 y las 18.00

horas. Dependiendo de la latitud y franja horaria, es posible que necesites recurrir a la suplementación, pero, antes de llegar a eso, puedes tomar estos valores como referencia:

- Si tienes la piel clara, 10 minutos al día en verano, 20 minutos en primavera/otoño y 30 minutos en invierno.
- Si tienes la piel oscura necesitarás el doble o el triple de tiempo, según el tono.

En los países que se sitúan en una latitud mayor a 35 o, como es el caso de España (salvo en las islas Canarias), durante los meses de invierno, en gran parte el otoño y algo de primavera, la incidencia del sol hace que sus rayos lleguen con un ángulo oblicuo, por lo que tendrán que atravesar más atmósfera. En general, y con más dificultad cuanto más al norte vayamos, recibiremos una cantidad insuficiente de UVB para satisfacer nuestras necesidades de producción de vitamina D aun poniendo todo el empeño en las horas más templadas y sin bloqueador solar.

La longitud de tu sombra es un buen indicador de cuán oblicuo está el ángulo del sol. Si tu sombra es más larga que tu altura, la oblicuidad de los rayos de sol será tan alta que hará que no lleguen los suficientes UVB para producir la vitamina D que necesitas.

Quizá pienses que puedes obtener la vitamina D de los alimentos. En efecto, los esquimales la consiguen así, pero para ello deberías comer grandes cantidades de pescado azul, marisco e hígado de bacalao. Otra fuente de vitamina D son las setas, aunque en ellas se encuentra inactiva. Un truco para activarlas, recomendado por María H. Bascuñana, es sacar tus setas a que tomen el sol. Sí, en efecto, has leído bien. Si troceas las setas y les das un baño de unos 30 minutos en verano o el doble en invierno activarás su vitamina D.

Como regla general, si tus niveles de vitamina D están bajos, además de tomar el sol y comer estos alimentos, deberías suplementarte hasta conseguir unos niveles adecuados.

La dosis de suplementación con vitamina D_3 es:

- De octubre a abril: 2.000 UI/día de mantenimiento.
- Cuando hay déficit: mínimo entre 4.000-5.000 UI/día. Se tiene que hacer bajo supervisión de un terapeuta que paute las dosis adecuadas y vaya viendo la evolución en las analíticas y ajuste la pauta si es necesario.

15.7. Luz azul: el demonio está en los detalles

La última parte del espectro de la luz del que vamos a hablar es la luz azul. La pobrecita, como anteriormente ocurrió en el caso de la luz UV, está siendo objeto de demonización por parte de cierto sector de la divulgación. Sin embargo, como entenderás ahora, la luz azul no es el problema. De nuevo, el problema es la relación que establecemos con ella. Incluso la luz artificial utilizada en el momento adecuado del día tiene beneficios para nuestra salud avalados por la evidencia científica.

Este tipo de luz posee una longitud de onda corta, de **400 a 500 nm**, que produce grandes cantidades de energía lumínica (esto quiere decir que ilumina mucho), por lo que también se la conoce como **luz visible de alta energía**. Por su longitud de onda, es el espectro de luz visible solar predominante, mayor, como ya sabes, en las horas centrales del día, cuando más azul está el cielo. Dada su capacidad para iluminar, desde la industria tecnológica se decidió cambiar las antiguas bombillas incandescentes (que producían luz naranja) por los modernos LEDS de luz azul intensa que al ojo se ve blanca, e incorporar esta clase de iluminación a las pantallas de todo tipo de dispositivos electrónicos como ordenadores, tabletas o smartphones. Y esto está genial, pero si sólo los utilizáramos por la mañana y en las horas centrales del día, que es cuando nuestro organismo espera recibir la luz azul. Fuera de esa franja de hora, la luz azul le manda un mensaje contradictorio a nuestro cerebro.

A nivel genético, estamos diseñados para vivir en sincronización con el ciclo noche y día, lo que llamamos «ritmo circadiano». ¿Qué es, en esencia, lo que distingue las noches de los días? Efectivamente, que las noches son oscuras y los días claros, al menos hasta que inventamos la vida en interiores y la luz eléctrica.

Nuestro cuerpo adapta su funcionamiento al momento del día en el que nos encontramos. Esto lo consigue gracias a la interpretación que hace el cerebro de la información lumínica que le llega desde el ojo, a través del nervio óptico. El funcionamiento es sencillo: a más luz, más actividad. Por eso, en los días nublados tendemos a sentirnos con menos energía que en los días soleados.

Recuerda que, cuando hablamos de energía, hablamos de mitocondrias. Sin duda, nuestras viejas amigas y, con ellas, nuestro metabolismo, se muestran mucho más activos en la primera mitad del día. Varios estudios de revisión han comprobado que cuanto más temprano hagamos las comidas principales del día, mejor funciona nuestro metabolismo, lo que se traduce en una mayor facilidad para tener un peso corporal y unos niveles de colesterol y azúcar en sangre saludables.

Si trabajásemos en un zoológico, no se nos ocurriría alimentar a una lechuza durante el día, ni mucho menos forzarla a que saliera de su nido. Entendemos perfectamente que es un animal nocturno, que vive y come de noche. Entonces, ¿por qué esta misma lógica no la aplicamos a nuestra especie?

Sabemos que el *Homo sapiens* es una especie diurna. Su genética está adaptada para:

- Despertarse con la luz azul del sol naciente y absorber los fotones NIR de la mañana estimulando la producción de serotonina.
- La actividad y la búsqueda de alimento al aire libre durante el día. Para ello, nuestro cerebro producía sustancias como el cortisol, la noradrenalina y la dopamina, que nos activaban y motivaban sin estresarnos ni ponernos de mal humor, ya que estábamos bajo el influjo de la serotonina, un cóctel perfecto de activación, motivación y bienestar.
- Relajarse, al atardecer, generando serotonina y preparando nuestro cuerpo para el descanso.
- Cuando el sol se ponía, conversar y contar historias en compañía de nuestra tribu/familia, con el calor de una hoguera como nuestra única fuente de luz. Al ser de espectro rojo (el fuego emite fotones NIR), lejos de interferir en la producción de melatonina, la estimulaban.
- Cuando apagábamos el fuego, la noche nos brindaba una oscuridad total que generaba el estímulo perfecto para que nuestra glándula pineal produjera la melatonina necesaria para ser vertida a la sangre y que se esparciera por todo el organismo como una especie de elixir reparador.

Necesitamos luz azul durante el día porque manda a nuestras mitocondrias la señal de que tenemos que estar activos para las actividades diarias. A su vez, la ausencia de esta luz manda la señal a nuestro cerebro, percibida desde el ojo, de que es hora de activar procesos regenerativos a nivel celular y de reducir el estrés oxidativo que han sufrido nuestros tejidos a lo largo del día: es el momento de que sinteticemos la molécula más regenerativa y antioxidante que existe, la melatonina.

Para poder funcionar así, necesitamos saber en qué momento del día nos encontramos. Debemos tener en hora nuestro reloj interno (el núcleo supraquiasmático), que resulta ser un reloj solar que se servía de las diferencias enormes de luminosidad entre el día y la noche. Eso sí, hasta el desarrollo de la luz artificial.

La vida moderna nos ha convertido en presos voluntarios que viven en cubículos distópicos a los que llamamos edificios, sumidos en un mar **de luz artificial de intensidad media** desde la mañana hasta la noche. Si lo piensas bien, suena a una especie de tortura perversa.

La mayor parte de la población de las sociedades modernas pasa hasta el 93 por ciento de su tiempo en interiores. Esto hace que durante el día estemos expuestos a intensidades de luz mucho más bajas que en la naturaleza, mientras que iluminamos en exceso las noches con luces LEDS y pantallas de dispositivos electrónicos. Ambas son emisoras de color azul, que mandan a nuestro cerebro el mensaje de que es de día y arruinan la producción de melatonina y, en consecuencia, nuestro metabolismo.

Sin la suficiente melatonina, nuestras mitocondrias sucumben fácilmente al estrés oxidativo y envejecen con rapidez.

Un déficit de melatonina compromete la eficiencia de nuestras centrales energéticas. La exposición a luz azul por la noche, durante las 3 horas previas antes de irnos a dormir, disminuye significativamente la capacidad mitocondrial de quemar tanto glucosa como grasa, lo que sugiere que esta práctica tan habitual en la mayor parte de la población se convierte en un factor de riesgo que se debe tener muy en cuenta a la hora de desarrollar obesidad.

¿Qué podemos hacer para protegernos del exceso de luz azul?

Como regla general, una buena guía es evitar pantallas, bombillas rojas y gafas con filtro de luz azul. Por la noche en casa, procura estar con luz tenue, suave y rojiza o anaranjada. Los tonos de luz que simulan el atardecer son mucho más benévolos con nuestros ritmos circadianos. **Evita las lámparas de techo brillantes, que evocan al sol en nuestro cerebro, y sustitúyelas por** la luz de las velas, la luz roja artificial (sirve cualquier bombilla roja o tiras con LED de color rojo), lámparas de pie de color anaranjado o la luz de una lámpara de sal.

Es curioso y reconfortante ver que, en algunos municipios de Dinamarca y Holanda, las luces de las farolas fueron reemplazadas por bombillas rojas para conseguir una iluminación menos brillante y más amigable para las especies de la zona, como los murciélagos. Maurice Donners, científico especializado en iluminación, constató que, mientras que las luces de longitudes cortas como la azul interferían en

la vida normal de estos animales, las de onda larga, como la roja, era poco o nada visible por animales fotosensibles como los murciélagos y otras especies de la zona. Quizá los científicos deberían recordar de vez en cuando que los humanos no somos más que otra especie y, por lo tanto, no vivimos ajenos a las leyes de la naturaleza.

En lo referente al uso de pantallas, lo ideal sería que a partir de **las 19.00 - 20.00 horas en invierno y las 20.00 - 21.00 horas en verano** dejaras de mirar pantallas que emitan luz azul, como las de la televisión, el ordenador, la tableta o el smartphone. Si no quieres prescindir de ellas, las puedes utilizar en «modo nocturno» o, mejor aún, instalando aplicaciones como f.lux o Twilight que disminuyen la cantidad de luz azul emitida por la pantalla. No tienes excusa: ¡son gratis! En el caso de la televisión, deberías reducir el brillo de la pantalla, aunque lo mejor es que pongas una barrera entre tu ojo y la luz que emiten estos aparatos. En otras palabras, que uses unas gafas que bloqueen la luz azul.

Estas gafas son un tipo de lentes especiales diseñadas para bloquear la luz azul que llega a tus ojos, impidiendo que éstos envíen al cerebro el mensaje de que aún es de día. Así, tu mente se puede poner en modo descanso, produciendo melatonina. Según el color de la lente, unas gafas filtrarán más luz que otras. Por ejemplo, las lentes transparentes sólo bloquean del 5 por ciento al 25 por ciento de la luz azul, insuficiente para evitar que tus ojos se intoxiquen con la luz azul nocturna.

En este sentido, las gafas de color amarillo, naranja y, sobre todo, rojo neutralizan de una manera mucho más efectiva el azul, hasta en un 95 por ciento, por lo que tus ojos no lo percibirán. (Eso sí, lo vas a ver todo del color de tus gafas, aunque es fácil acostumbrarse.) Otra ventaja de estas gafas es que, si en casa no consigues convencer a tu familia de despediros de las luces intensas por la noche, serán tu chaleco antibalas contra la luz azul.

Luz azul terapéutica

¿Quiere esto decir que la luz azul artificial siempre es un problema? Al contrario: usadas de una manera correcta puede, incluso, resultar terapéutica. Te explico el porqué.

Para sincronizar tu reloj interno y, por supuesto, a tus mitocondrias, necesitas exponerte durante la mañana y cuanto más tiempo mejor a luz azul intensa (superior a 1.000 lux). Así, tus mitocondrias estarán perfectamente informadas de que es hora de generar energía para las actividades del día, usando para ello los distintos sustratos energéticos, por lo que serán capaces de procesar la comida ingerida de una manera correcta. Y es mucho mejor si previamente las hemos activado con luz roja e infrarroja, así como con

una dosis de ejercicio de alta intensidad.

Si puedes, además de pasear al aire libre por la mañana antes de trabajar y salir en tu descanso a tomar el sol, lo ideal es que trabajes o estudies cerca de una ventana, donde la luz natural del sol le pueda indicar al cerebro que se mantenga alerta y concentrado. Si no tuvieras acceso a luz natural, durante la mañana y hasta media tarde deberías usar una iluminación brillante de techo para facilitar la liberación de dopamina y norepinefrina, moléculas asociadas con la motivación, la actividad y la atención **que maximizan nuestro estado de activación y concentración para el trabajo**.

Una buena opción, avalada por la evidencia científica, para estos casos en los que no tenemos acceso a luz matinal intensa (o, al menos, no tanto como desearíamos) son las lámparas de alta intensidad lumínica de al menos 10.000 lux. Vienen a ser algo así como una especie de tableta que únicamente emite la tan temida luz azul, pero en cantidades industriales. Usado correctamente, el veneno se convierte en medicina.

En días más largos y soleados, toleramos mejor el dolor y nuestro humor, nuestro ánimo y nuestra concentración suelen ser mejores que en días cortos y nublados, que parecen inducirnos un estado pseudomelancólico en el que todo nos duele más y la vida parece ponerse cuesta arriba.

La luz azul del sol de la mañana mejora el estado de ánimo, aumenta la energía, regula el apetito e incrementa la liberación de dopamina (motivación), serotonina (bienestar) y endorfinas (antidolor).

Como podrás suponer, esta falta de luz supone todo un reto en zonas del norte como los países nórdicos, por eso ellos son referentes mundiales en la investigación del uso terapéutico de la luz azul. La evidencia científica nos dice que la terapia de luz puede llegar a ser tan efectiva como los fármacos en personas propensas a sufrir depresiones y se ha demostrado de manera significativa que frena el deterioro cognitivo y lucha contra el dolor crónico.

15.8. Un breve resumen práctico

Nuestra biología se alineó con los astros para marcarnos el ritmo de nuestra vida. Es importante que entendamos el impacto en nuestra salud que supone eliminar de nuestras vidas el 90 por ciento del espectro solar, que tiene efectos en procesos biológicos como la

producción de melatonina y la activación de nuestras mitocondrias.

Nuestros genes evolucionaron recibiendo luz brillante y natural durante el día, con un patrón de intensidad creciente hasta un cénit y luego decreciente hasta alcanzar la oscuridad casi total. Cuanto más te aproximes a este patrón lumínico ancestral, en el que las diferentes longitudes de onda del espectro solar desfilaban de manera acompasada bajo la batuta del ciclo luz-oscuridad, más felices estarán tus mitocondrias.

El ciclo de la luz solar y sus efectos biológicos

- Luces roja e infrarroja por la mañana: aumento de serotonina y activación mitocondrial.
- Más luces UV y azul por la mañana: dopamina, endorfinas y cortisol. Actividad, pero no nerviosismo ni estrés, ya que estamos bajo el influjo de la serotonina y llenos de energía mitocondrial.
- A medida que avanza el día: la intensidad de la luz y de la UV va en aumento y, con esta última, la capacidad de producir, entre otras sustancias, vitamina D y óxido nítrico.
- Llegado el atardecer, la intensidad lumínica va decayendo y regresa la luz roja para volver a subir la serotonina, pero esta vez sin el resto de neurotransmisores estimulantes. Nos conduce al modo descanso y sueño y se vuelve a producir otro pico de ATP mitocondrial, esta vez para dotar al cuerpo de la energía necesaria para llevar a cabo todos los procesos reparativos que se dan mientras dormimos.

Algunas recomendaciones prácticas

1. **Exponte lo antes posible a la luz del sol**. Las dos primeras horas después de que el sol haya salido por completo y, en especial, la luz del amanecer, están cargadas de los fotones NIR del sol, incluso aunque esté nublado. Recuerda que las hojas de las plantas amplifican la cantidad de fotones NIR. Además, la luz brillante durante la mañana es especialmente relevante para sincronizar nuestro reloj interno.
2. **Toma un té verde a la luz del sol de la mañana**. La combinación de la EGCG del té verde y la luz roja son medicina mitocondrial. Si tienes una lámpara de fotobiomodulación, puedes usarla para este momento.
3. **Si es posible, trabaja (o estudia) cerca de una ventana**. Si en tu puesto habitual hay poca luz o padeces de dolor crónico, fibromialgia, depresión o algún tipo de trastorno neurodegenerativo, deberías usar una lámpara de alta intensidad lumínica durante la mañana. Utilízala al menos 30 minutos e idealmente una hora.

4. **Expón tanto tus ojos como la piel al sol** varias veces a lo largo de la mañana entre las 10.00 y las 16.00 horas, sin gafas de ningún tipo. Usa el camino al trabajo, la pausa del café y la parada para almorzar como momentos de reconciliación con el astro rey.

   Algo que hace que me duela la vista (nunca mejor dicho) es ver desde muy temprano a personas que lucen gafas de sol. Este hábito es muy nocivo para la salud, ya que en el momento en que tu organismo debería estar activándose, al sumirlo en una noche artificial, lo estás poniendo en modo letargo y desincronizando tu reloj interno.
5. **Al final de la tarde, sigue el ritmo natural del sol** y comienza a oscurecer tu hogar o el ambiente de trabajo. Reduce la exposición a la luz azul para ayudar a la transición al modo descanso que te hará dormir por la noche. Apaga las luces del techo; usa luces más suaves (naranjas o rojas) y atenúa la pantalla del ordenador u otros dispositivos. Si es necesario, usa gafas bloqueadoras de la luz azul.
6. **Contempla el atardecer**.
7. **Evita la luz azul** al menos 2 horas antes de acostarte.
8. Antes de dormir, es otro buen momento para usar durante unos minutos tu lámpara de fotobiomodulación.
9. **Duerme en un ambiente de máxima oscuridad**.

Si te has quedado con más ganas de que te dé estrategias concretas para reconciliarte con el sol, usar la luz artificial a nuestro favor o aplicar suplementos que mejoren tu sueño y tus mitocondrias, te alegrará saber que en los capítulos 23 y 24 nos dedicaremos a mostrar cómo conquistar tus mañanas y diseñar tu noche perfecta. Antes, nos toca hablar de Londres. Sí, has leído bien, de Londres.

16

El *electrosmog*, la niebla invisible que nos rodea

16.1. La nueva gran niebla de Londres

El 5 de diciembre de 1952, nada hacía presagiar a las personas que amanecían bajo el frío típico del invierno londinense lo que les ocurriría horas después. En la Londres de esa época era muy común que las emisiones masivas de las fábricas y las estufas de calefacción sumieran sus calles en una niebla tan verdosa y densa que sus habitantes la llamaban «sopa de guisantes». La ciudad llevaba años consumida por el carbón y hacía casi cinco décadas de cuando, en 1905, el médico Harold Antoine des Voeux bautizó al aire que la rodeaba como ***smog***, una mezcla de humo (*smoke*) y niebla (*fog*).

Aquella tarde de diciembre, después de un duro día de trabajo, las familias se disponían a sentarse todas juntas al calor de las chimeneas, que dibujaban en el cielo de la ciudad las características columnas de calor y humo antes de disiparse en la fría atmósfera. En ese momento, algo muy inusual ocurrió. Un manto de aire cálido se posó sobre Londres, empujando el aire cargado con el humo hacia el suelo. De golpe, la ciudad se vio invadida por una niebla de aire negro y tiznado tan densa que hacía que las personas no pudiesen ver más allá de sus pies. La Gran Niebla (*The Great Smog*), como la apodaron, estranguló sus calles durante cinco días.

El gobierno de la nación tardó en responder y las autoridades sanitarias restaron importancia a la Gran Niebla. «El frío y los vientos lentos son los culpables», esgrimieron. «No hay nada de lo que preocuparse», afirmaron. Pero lo cierto es que aquel *smog* de diciembre no se parecía a nada que Londres hubiera visto jamás. La niebla tóxica estaba asfixiando la ciudad. Cuando se disipó cuatro días más tarde, en Londres no quedaban flores... ni ataúdes.

Electrosmog

Wifi, *bluetooth*, ordenadores con conexión, antenas, repetidores, hornos microondas, cables de distribución eléctrica... Y qué decir de los móviles; ya hay más móviles que personas en el planeta. Todos estos aparatos tecnológicos emiten radiaciones electromagnéticas que generan una niebla invisible pero omnipresente que nos rodea, conocida por su nombre en inglés, *electrosmog*. Es la versión tecnológica de la Gran Niebla.

Es cierto que las ondas de radio y las microondas (teléfonos y

wifi), igual que la luz infrarroja y la luz visible, son formas de radiación no ionizante. Pero, como ya has visto con anterioridad, eso no quiere decir que no impacten en nuestra biología.

Los procesos que acontecen en el interior de nuestras mitocondrias, como la cadena de transporte de electrones, tienen un marcado carácter electromagnético que se ve influenciado por radiaciones naturales como la luz infrarroja cercana. ¿Qué nos hace suponer que una exposición continuada a radiaciones no naturales, como el wifi, no pueda alterar la función mitocondrial produciendo efectos adversos para la salud?

Igual que ocurrió en Londres con el avance de la industrialización, la revolución tecnológica actual hace que estemos experimentando un aumento sin precedentes del número y la diversidad de fuentes emisoras de campos electromagnéticos. Y el único campo electromagnético al que debemos adaptarnos es justo el único del que nos hemos desconectado: el campo electromagnético terrestre.

16.2. Frecuencias electromagnéticas antropogénicas

Hasta ahora, todos los tipos de radiación electromagnética que hemos visto (infrarrojos, luz visible y UV) están presentes en la naturaleza. Sin embargo, existen otros tipos de radiación electromagnética que no son naturales; han sido creados por la especie humana y los llamamos «antropogénicos». Estas ondas antropogénicas son conocidas como radiofrecuencias (RF), tienen longitudes de onda más largas que los infrarrojos y en el espectro se sitúan por debajo de la luz visible y del infrarrojo. Aquí estarían las microondas, ondas de telefonía móvil, wifi, 3G, 4G, 5G, ondas de radio y televisión...

La radiofrecuencia abarca aproximadamente desde los 100 MHz de magnitud de las emisoras de FM a las 400-500 MHz que ocupan las antenas de televisión o las de 700 MHz que se han liberado para el 5G. De los 900 MHz a los 12,5 GHz están los móviles y tecnologías como el wifi y el *bluetooth*.

Las ondas antropogénicas generan un campo electromagnético (EMF, por sus siglas en inglés) alrededor del aparato que las capta, como un ordenador, un smartphone o una tableta, y también del que las produce, como un microondas o un enrutador wifi.

Además de su intensidad, las características de estos campos electromagnéticos de radiofrecuencia antropogénicas (RF-EMF) son significativamente diferentes a las de las ondas electromagnéticas naturales. Por lo tanto, podemos afirmar que el extraordinario nivel de RF-EMF al que estamos expuestos actualmente es un fenómeno único en la historia de la Tierra. Ningún organismo vivo, bacteria, animal o planta, está preparado evolutivamente para esta situación, que puede

influir en su biología.

Una amenaza para nuestras mitocondrias

Los humanos, al hacer un uso masivo de dispositivos inalámbricos, somos los que estamos más expuestos a RF-EMF a distancias muy cercanas. Aunque no somos los únicos: algunos estudios han analizado cómo las copas de los árboles se secan cuando están cerca de antenas de telefonía móvil. Recuerda que en las hojas de los árboles están los cloroplastos, las mitocondrias vegetales.

Otras investigaciones apuntan a que plantas como tomates, apios, perejil, eneldo o lechugas también se ven afectadas cuando son expuestas de manera continuada a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF). Sus cloroplastos sufren una disminución significativa y sistémica en la eficiencia fotosintética (lo que vendría a ser una disfunción mitocondrial vegetal) y, además, pierden la capacidad de producción de glutatión. El resultado es menos energía y más estrés oxidativo.

Lo mismo ocurre con nuestras mitocondrias y su agua estructurada cuando son expuestas de manera continuada a los campos electromagnéticos de teléfonos móviles, ordenadores portátiles y otros dispositivos electrónicos. En un artículo de 2018 titulado «El wifi es una amenaza importante para la salud humana», los autores reportaban que, tras la exposición al wifi y radiaciones similares, se producían, entre otros, efectos adversos típicos de la disfunción mitocondrial como alteraciones en los canales de calcio, un aumento del estrés oxidativo o fallos en el proceso de apoptosis celular.

De la influencia perniciosa de este tipo de campos electromagnéticos tampoco parece librarse la producción de melatonina. Piensa en lo nefasto que es algo tan común como dormir con el teléfono móvil a lado de la cama: imagina una nube de *electrosmog* alrededor de tu cabeza inhibiendo la capacidad de producir melatonina.

Si bien los estudios sobre la cuestión se han multiplicado en los últimos años, existe un halo de oscurantismo sobre este tema bastante preocupante. Casi todos los países niegan sus efectos contra la salud con la misma vehemencia con la que Winston Churchill negaba las repercusiones de la Gran Niebla de Londres.

Pero hay esperanza. Hoy en día, países como Suecia o Canadá reconocen la hipersensibilidad electromagnética como enfermedad. Los síntomas experimentados debido al *electrosmog* suelen traducirse en **problemas dermatológicos** como enrojecimiento, hormigueo o sensación de ardor, y en **síntomas vegetativos** como fatiga, dificultad de concentración, cansancio, mareos, náuseas, palpitaciones del

corazón y trastornos digestivos.

16.3. ¿Qué puedes hacer para reducir tu exposición?

Mi intención no es preocuparte, pero sí que te ocupes de tu salud. No creo que por dormir con el teléfono móvil cerca vayas a enfermar, pero es un factor de riesgo más que se suma a tantos otros de la vida moderna y va socavando nuestra salud. Como dice la manida frase, «pasito a pasito» hasta caer enfermito.

De qué tienes que ocuparte:

- De mantener el enrutador wifi alejado de las áreas donde tú y tu familia paséis más tiempo.
- De apagar el wifi por la noche.
- De instalar Internet Ethernet (por cable) en el hogar en vez de wifi; eso sería lo ideal.
- De desenchufar los aparatos eléctricos que no estés usando, especialmente los del dormitorio cuando te vayas a dormir.
- De no dejar el cargador conectado a la red si no lo estás usando.
- De mantener los dispositivos en modo avión cuando no los estés utilizando.
- De mantener tu teléfono móvil y tu ordenador a distancia cuando sea posible.
- De evitar los auriculares *bluetooth*. He de confesarte que me costó despedirme de mis AirPods y volver al auricular de clavija, pero todo sea por mis mitocondrias.
- Si usas horno microondas, no te quedes al lado mientras está funcionando.
- De situar los electrodomésticos, siempre que sea posible, contra paredes que den al exterior.

También existen filtros de radiación electromagnética, como SPIRO®, que limpian el ambiente y permiten así que las personas puedan coexistir con cierta tranquilidad con este tipo de radiación. Si quieres saber más sobre el tema, te recomiendo a Julián Marín, especialista en salud ambiental, y su web Unidad Verde.

En un estudio llevado a cabo por la NASA en 1989 sobre cómo las plantas podrían ayudarnos a una posible adaptación a la vida en Marte, titulado «*Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*», este prestigioso organismo puso de manifiesto que plantas como la *Dracaena* o *Sansevieria*, los cactus y el aloe vera son capaces de absorber la radiación EMF de habitáculos cerrados. Así que ahí

tienes otro motivo más para llenar tu casa de plantas.

Conéctate (literalmente) con la Tierra

Aprovechando que hemos nombrado a la NASA, te voy a hablar de física y, en especial, de un físico, el ganador del Nobel **Richard Feynman**. Antes de que decidas cerrar el libro, piensa si no merece una oportunidad alguien que pensaba así: «Hay belleza no sólo en la apariencia de la flor, también en poder apreciar su funcionamiento interno y en cómo ha evolucionado para tener los colores adecuados que atraen a los insectos para que la polinicen. La ciencia no hace más que enriquecer el entusiasmo y el asombro que provoca la flor».

Feynman fue una persona muy controvertida en muchos aspectos de su vida, pero eso no quita que haya sido una de las mentes más brillantes de la historia de la humanidad, tanto por su coeficiente intelectual como por su curiosidad sin límites y su capacidad para explicar conceptos complejos. Según él, **si no puedes explicar algo de forma tan simple que lo entienda un niño de cinco años, posiblemente no lo conoces tan bien como pensabas**.

En un bar de la Universidad Cornell, Feynman observó a un estudiante lanzando un plato al aire, como si se tratara de un frisbi. Al caer al suelo, el plato comenzó a rotar más rápido. Aquello le hizo pensar en las ecuaciones que explicaban ese hecho y, en ese momento, le vino a la cabeza el físico británico Paul Dirac y su compleja teoría de electrodinámica cuántica, que intentaba explicar el mundo subatómico, pero que provocaba más preguntas que las respuestas que obtenía.

Feynman logró solventar la teoría de Dirac elaborando una serie de diagramas con los que incluso decoró su furgoneta y que le valieron el premio Nobel de Física en 1965. Esos diagramas se usan para modelar desde el comportamiento hasta la estructura del cosmos.

Pero ¿qué relevancia tiene esto para protegernos contra el *electrosmog*? Para explicártelo antes debo de hablarte de gomas elásticas. Sí, sí, de ésas entre naranjas y marrones que venden en las papelerías. Bueno, mejor te hablará el mismísimo Richard Feynman sobre ellas:12

> Están formadas por unas moléculas alargadas, como si fueran cadenas. Y luego, por otras más pequeñas, que se mueven, vibrando todo el rato, y que golpean una y otra vez, constantemente, a las que tienen forma de cadena. En reposo, las cadenas están arrugadas y como deformadas, porque absorben los golpes de ese bombardeo continuo.
>
> Cuando estiras una goma, lo que haces es enderezar las cadenas en una línea recta, a la vez que el bombardeo se intensifica. Esos golpes constantes intentan provocar que las moléculas vuelvan a arrugarse y recuperen la forma que tenían

en reposo. Y, de hecho, generan calor. Si te pones una goma elástica lo suficientemente gruesa entre los labios y la estiras, notarás que se calienta. Y que cuando se relaja, se enfría.

Siempre me ha fascinado pensar en las gomas elásticas, en que cuando están aparentemente quietas apretando una pila de papeles, lo hacen a causa del golpear perpetuo de esas moléculas.

Si lo miras bien, el mundo es un desorden dinámico constante de cosas que vibran y se mueven. Si aumentas cualquier cosa lo suficiente, dejas de poder verla, no puedes distinguir nada, porque se convierte en un montón de patrones de pequeñas bolas vibrantes. Tenemos la suerte de vivir el mundo a una escala en la que experimentamos los objetos sin tener que preocuparnos de todos esos pequeños átomos.

Sólo Feynman podía convertir algo tan aburrido como una goma en una apasionante lucha de moléculas. Pero, ahora, ¿qué tienen que ver las gomas elásticas con el *electrosmog* y las mitocondrias?

Si lo piensas, nosotros también somos átomos vibrantes sostenidos por la energía que producen nuestras mitocondrias. Richard Feynman demostró que los átomos no sólo están influenciados por la gravedad de la Tierra, sino también por su campo electromagnético. De ahí que el plato acelerara más cuando entraba en contacto con éste.

En sus conferencias sobre electromagnetismo, Feynman explicaba cómo, cuando un cuerpo entra en contacto con la Tierra, su potencial eléctrico se iguala al de ésta, pasando a ser parte del gigantesco sistema electromagnético del planeta. Así, el potencial de la Tierra se convierte en el «agente de trabajo que cancela, reduce o aleja los campos eléctricos del cuerpo».

Lo que no sabía el bueno de Richard era que en 1965 estaba sentando las bases de lo que hoy conocemos con el anglicismo de *earthing* o *grounding* («hacer toma de tierra»), fruto de la evidencia de que el campo electromagnético de la Tierra tiene una poderosa influencia en el funcionamiento de nuestro organismo. Tendemos a olvidar que, al igual que la rotación del núcleo interno sólido de la Tierra girando gracias a un núcleo externo viscoso es lo que produce nuestro campo electromagnético, en el interior de cada célula de nuestro cuerpo tenemos miles de turbinas (la ATP sintasa) girando sin cesar produciendo ATP, pero también energía electromagnética vital para las reacciones químicas que se dan en nuestro organismo y que posibilitan nuestra vida.

Nuestro cuerpo funciona como un conductor natural que necesita del contacto de nuestros pies descalzos sobre la tierra para equilibrar su carga electromagnética gracias a la de la Tierra.

Esto no son elucubraciones fruto de un viaje psicodélico. Hay estudios en los que se midió el voltaje en múltiples áreas del cuerpo en personas mientras estaban conectadas a tierra y sin conexión. La conexión a tierra redujo significativamente el voltaje en el cuerpo.

Desde el principio de los tiempos, dormimos en el suelo y caminamos descalzos sobre la tierra o con calzado hecho de pieles de animales o cáñamo, que nos mantenía conectados con el suelo que pisábamos al carecer de capas aislantes. Nuestra piel estaba directamente en contacto con la tierra, posibilitando una conexión estrecha con su energía eléctrica. A través de este mecanismo, cada parte del cuerpo podía equilibrarse con el potencial eléctrico de la Tierra, estabilizando el entorno electromagnético de todos los órganos, tejidos y células.

El problema es que la vida moderna alterna nuestro biomagnetismo, ya que, por un lado, nos conecta con campos electromagnéticos artificiales que nos hacen enfermar y, por otro, nos desconecta del único que nos ayuda a sanar. Las suelas de goma, el suelo de asfalto, de materiales sintéticos, o los morteros con los que se unen las baldosas al suelo, suponen una barrera aislante del campo electromagnético terrestre.

¿Cuándo fue la última vez que caminaste descalzo sobre césped, arena o tierra? ¿Cuándo fue la última vez que te sentaste bajo un árbol? Sus troncos están literalmente conectados a la tierra. ¿Cuándo fue la última vez que te bañaste en cualquier agua natural, como la de lagos, arroyos u océanos? El agua es el conductor universal de la energía de la Tierra.

La realidad es que la mayoría de las personas pasan de semanas a meses sin tener el contacto directo de su piel con suelos naturales durante más de un minuto. No nos comunicamos electromagnéticamente con la Tierra. Vivimos desconectados de nuestro planeta, de su ritmo eléctrico natural, y pagamos un excesivo precio a modo de mitocondrias disfuncionales e intoxicación por *electrosmog*.

La conexión a tierra puede mejorar la función de nuestras mitocondrias, como, por ejemplo, al aumentar su contenido en agua estructurada, y descargarnos del *electrosmog* acumulado en nuestros tejidos.

¿Quieres mejorar tu ánimo, tu sueño, tu dolor, tu estrés, tu sistema inmunitario, tu curación de las heridas, tu inflamación, tus dolores de cabeza, tu cansancio crónico? Pues pisa césped, túmbate en el campo, abraza árboles, cultiva la tierra, báñate en el mar. **En definitiva, vuelve a hacer de la Tierra tu hogar**. Como decía John

Muir: «Sólo fui a dar un paseo y al final decidí quedarme fuera hasta el anochecer, porque descubrí que, al salir, en realidad estaba entrando».

17

NAD+, sirtuinas y longevidad

17.1. Inestabilidad genómica y telómeros

Uno de los mecanismos que causan el envejecimiento y la disfunción mitocondrial es la inestabilidad genómica. Tanto nuestro ADN nuclear como el mitocondrial se desgastan cada vez que se usan (se transcriben). Para retrasar este proceso existen los telómeros, unas estructuras de ADN que se encuentran en los **extremos de los cromosomas del ADN nuclear y también en el ADN mitocondrial**. Su misión es garantizar que el ADN se duplique correctamente y con el mínimo desgaste posible.

Aunque nuestro organismo está diseñado para proteger y reparar su ADN, el daño acumulado con el paso del tiempo hace que tanto **los telómeros, que se acortan**, como otros mecanismos de protección genómica pierdan efectividad. Además, este deterioro se ve muy acelerado por factores externos, como el sobrepeso, el tabaco, la inflamación crónica, los tóxicos, el estrés, las infecciones recurrentes y la contaminación. Todo ello conduce a un **deterioro de nuestro ADN** conocido como «inestabilidad genómica» que causa un envejecimiento acelerado y favorece la aparición de multitud de patologías, entre ellas, el cáncer. Paralelamente, cuando la inestabilidad afecta al ADN mitocondrial, las mitocondrias se volverán disfuncionales, generarán menos ATP y más radicales libres, empeorando aún más la salud de las células.

El ADN mitocondrial carece de mecanismos de protección, como las histonas que sí están presentes en el ADN nuclear, por lo que es más vulnerable al deterioro. Ésa es la razón de que muchas patologías se inicien en las mitocondrias.

Afortunadamente, como ya hemos mencionado, el largo proceso evolutivo nos ha dotado de mecanismos para hacer frente a esta inestabilidad. Uno de ellos es la **telomerasa**, una enzima que se encarga de proteger e incluso reparar los telómeros. El otro mecanismo son las **sirtuinas**, de las que hablaremos a continuación.

Las sirtuinas

Las sirtuinas (SIRT) son una familia de siete enzimas (SIRT1SIRT7) dependientes de NAD+ que tienen un papel fundamental en la longevidad, ya que se encargan, entre otras cosas, de proteger el ADN y reparar errores acumulados. Según David Sinclair, investigador en la

Universidad de Harvard y uno de los mayores expertos en longevidad del mundo, «las sirtuinas controlan la rapidez con la que envejecemos».

Además de reparar el ADN nuclear y mitocondrial, aumentando su vida útil y, por tanto, la nuestra, estas moléculas tienen un papel protagonista en la regulación de la autofagia/mitofagia y de la biogénesis mitocondrial (activando a PGC1α). Su presencia mejora la salud y el funcionamiento de nuestras mitocondrias, impulsando un mayor metabolismo energético con una menor producción de estrés oxidativo. Dadas estas increíbles funciones, no es de extrañar que la comunidad científica se esté volviendo loca buscando moléculas que activen la expresión de las sirtuinas.

NAD+

Lo primero que debemos tener claro es que las sirtuinas consumen NAD+ para poder cumplir con su función. Sin él no hay sirtuinas, así de sencillo. Si recuerdas, la Nicotinamida Adenina Dinucleótido o, para los amigos, NAD+, que vimos brevemente en los capítulos iniciales, es un derivado de la vitamina B3 (niacina) que cumple importantes funciones a nivel metabólico.

Como ya sabes, el NAD+ se reduce a NADH al aceptar dos electrones y un protón de la glucólisis en el ciclo de Krebs que lo transportará hasta la cadena respiratoria mitocondrial, donde vuelve a ser reciclado a NAD+. El problema es que cuando la mitocondria no funciona correctamente y hay un exceso de glucólisis citoplasmática, el NADH no se recicla. Las reservas de NAD+ se agotan, paralizando a su vez a la mitocondria en una especie de círculo vicioso Otras causas que agotan el NAD+ son:

- El estrés crónico
- La falta de sueño
- Tóxicos, entre los que se cuentan el alcohol y tabaco • Exceso de calorías
- Sedentarismo
- Infecciones

Si te fijas, todos los factores que dañan a las mitocondrias son factores que agotan el NAD+. Es importante tener en cuenta que, de manera fisiológica, la producción de NAD+ decae de manera importante a partir de los cuarenta años.

Sin NAD+, las mitocondrias y las sirtuinas no funcionarían… casi nada. Por ello, parte de los esfuerzos en investigación se centran en cómo elevar los niveles de NAD+ en el organismo gracias a aportar moléculas precursoras.

Dos de las moléculas precursoras más estudiadas para elevar los niveles de NAD+ son la nicotinamida ribósido (NR) y la que quizá cuenta con más evidencia, la nicotinamida mononucleótido (NMN). Estás dos moléculas, que también provienen de la vitamina B3, son usadas como suplemento por muchos de los gurús de la longevidad actuales por su papel potencial en la extensión de la vida. El propio David Sinclair afirma tomar a diario 500 mg de NMN (según algunos artículos, con 250 mg sería suficiente).

Sin embargo, el glamur de estas sustancias tan novedosas no debe hacernos perder la visión de que todas ellas provienen de la vitamina B3. Parece que tiene sentido asegurar la ingesta de esta importante vitamina. Según los estudios necesitamos **20 mg diarios de niacina o niacinamida (su forma activada)** para cumplir con los requisitos diarios para la biosíntesis de NAD+. Pero, como verás ahora, no sólo la B3 es necesaria para una buena salud mitocondrial. Todas las vitaminas del grupo B importan.

17.2. *Bitaminas* PARA TUS MITOCONDRIAS: EL GRUPO B

Las vitaminas B representan un grupo de ocho micronutrientes dietéticos esenciales que tienen una función coenzimática y trabajan en estrecha colaboración para facilitar una serie de reacciones químicas a nivel celular. Son tan esenciales en el metabolismo energético que sin ellas las mitocondrias no podrían producir ATP.

Las vitaminas del grupo B participan en tantas funciones mitocondriales que son conocidas como las vitaminas de la energía.

Las vitaminas del grupo B son las siguientes: tiamina (B_1), riboflavina (B_2), niacina (B_3), ácido pantoténico (B_5), la piridoxina (B_6), la biotina (B_7), el folato (B_9) y la cobalamina (B_{12}). Son imprescindibles para **la producción de energía, la síntesis de neurotransmisores y el reciclaje de la homocisteína**.

Éstas son algunas buenas fuentes de las principales vitaminas B requeridas:

- **B_1 (tiamina)**: vegetales de hoja verde, pescado, huevos y vísceras • **B_2 (riboflavina)**: vegetales de hoja verde, huevos, aves de corral, pescado y lácteos • **B_3 (niacina)**: aves de corral, ternera, salmón y champiñones • **B_5 (ácido pantoténico)**: pescado, mariscos, lácteos, huevos, aguacate, brócoli y setas.
- **B_6 (piridoxina)**: plátano, espinacas, kale, pescado, hígado y patata

• **B_7 (biotina)**: yema del huevo, hígado, setas y coliflor • **B_9 (folato)**: vegetales verdes, espárragos, hígado • **B_{12} (cobalamina)**: hígado, gambas/camarones, carne

¿Cuándo se debe pensar en suplementar con complejo B? Es recomendable ante las siguientes situaciones:

- Déficit cognitivo
- Falta de concentración
- Estrés crónico/ansiedad
- Depresión
- Astenia
- Fibromialgia
- Problemas metabólicos
- Enfermedades neurodegenerativas

A nivel de suplementación, personalmente recomiendo lo que se conoce como «complejo B50», **un suplemento de vitaminas del complejo B de alta potencia**. Contiene 50 mg por cápsula de cada vitamina del grupo B, excepto de folato, de vitamina B_{12} y de biotina, que tiene cantidades menores, ya que, de lo contrario, podrían resultar tóxicas. Es mejor en su forma activada (como coenzimas), puesto que así no dependemos del hígado para su activación y son utilizadas directamente a nivel celular. Este tipo de complejo activados del grupo B suelen conocerse como «METHYL B-COMPLEX 50».

NUTRIENTE	**NO ACTIVADA**	**ACTIVADA**
Vitamina B_2		Riboflavina 5-fosfato
Vitamina B_3		Niacinamida
Vitamina B_6		Piridoxal-5-fosfato (P5P)
Vitamina B_{12}	Cianocobalamina	Metilcobalamina y adenosilcobalamina
	Ácido fólico	Metilfolato (5-MTHF)

Fuente: Elaboración propia.

La entrada de cada estación es una buena época para tomar a modo preventivo el complejo B50 durante un mes, especialmente si tienes más de cuarenta años. Yo, por ejemplo, lo tomo durante un mes cuatro veces al año.

17.3. STAC (*SirTuin Activating Compounds*)

Existen determinadas sustancias presentes en los alimentos con la capacidad de activar las sirtuinas. Son los denominados «componentes

activadores de las sirtuinas» o «STAC» (*SirTuin Activating Compounds*).

Entre los más potentes se encuentran moléculas como la quercetina, la apigenina, la fisetina, el ácido oleico, el omega 3, el hidroxitirosol, la curcumina, la EGCG, la espermidina,[13] el pterostilbeno y el resveratrol, entre otros. Como ves, son las mismas moléculas de las que te hablé cuando explicamos las mitocondrias zombis.

¿En qué alimentos encontramos los activadores de las sirtuinas y en qué cantidad tenemos que tomarlos? Afortunadamente, la ciencia ha dado respuesta a esta pregunta. Aquí te dejo la lista:

- Pescado (especialmente azul): 3 raciones/semana (1 ración = 200 g) • Aceite de oliva virgen extra: 2 cucharadas al día • Frutos secos (principalmente nueces) ≥ 3 raciones/semana (1 ración = 30 g) • Cacao entre 85-90 % (mejor si es puro): 20 g/ día • Aguacate: 70 g/día
- Té verde: 4 tazas al día
- Café: 3 tazas al día
- Cúrcuma: 5 g/día de cúrcuma en polvo o cruda rallada • Canela: 1-6 g/día
- Frutos del bosque: 50-150 g/día (arándanos, moras, uvas, frambuesas...) • Sofrito: tomate, cebolla, ajo, hierbas aromáticas. Cocinado a fuego lento con aceite de oliva: 2 raciones/semana • Setas variadas: shiitake, seta de ostra, champiñones... 85-100 g/ día

El resveratrol

El resveratrol parece destacar entre todas las moléculas activadoras de las sirtuinas. Este fitoquímico de la familia de los estilbenos es un gran activador de las sirtuinas y poderoso protector mitocondrial gracias a su capacidad para activar PGC1α, el regulador maestro de la biogénesis mitocondrial. Por si fuera poco, el resveratrol es capaz de activar la AMPK, mejorando la resistencia a la insulina al favorecer un cambio en la fuente de energía utilizada por las mitocondrias de glucosa a lípidos.

En los alimentos lo encontramos sobre todo en la piel de la uva negra y en el cacao. Los frutos rojos, especialmente los arándanos y las moras, también contienen resveratrol, aunque las bayas contienen más que nada **pterostilbeno**, una molécula que se parece mucho al resveratrol, tanto en su estructura como en su función.

Como suplemento, se utiliza la forma trans-resveratrol, que es la que mejor se absorbe, a una dosis de unos 500 mg al día. Si bien es usado junto a los precursores del NAD+ por los gurús de la longevidad, en realidad tiene muchos usos terapéuticos: ayuda a mejorar, entre otras, alteraciones como la glucosa, los triglicéridos y el

colesterol elevados. Eso sí, no es milagroso: si no viene acompañado de un profundo cambio de estilo de vida, no servirá para nada.

Si estás pensando en tomar algún suplemento sin empezar a poner en práctica los principios básicos..., ahórrate el dinero. El activador más fuerte que existe para las sirtuinas es nuestra vieja conocida AMPK que, como ya sabes, a su vez se activa con estímulos como el ayuno y el ejercicio de fuerza y aeróbico, cuya explicación puedes revisar en el capítulo 14. Además, otros hábitos saludables como la meditación y el sueño reparador, son grandes aliados de las sirtuinas y, según diversos estudios, estos hábitos han demostrado también elevar los niveles de NAD+.

18

La conexión entre microbiota y mitocondria

Como ya te conté, desde pequeño me han fascinado los relatos que nos hablan de las maravillas del universo. Pero ahora, años después, me resulta igual de apasionante la idea de que en nuestro interior habite un universo microbiano llamado «microbiota» y que de él dependa, en buena parte, nuestra salud y la de nuestras mitocondrias.

Desde que Iliá Ilich Méchnikov, director del Instituto Pasteur, recibiera el premio Nobel en 1908 al descubrir los efectos beneficiosos del yogur en la flora intestinal, hemos recorrido un largo camino que nos ha llevado a saber que en nuestro cuerpo viven alrededor de 38 billones de microorganismos. Sabemos que la mayoría son bacterias, aunque además hay virus, hongos y protozoos que habitan principalmente en el intestino, pero también en la boca, en el tracto genital, en la piel...

El impacto de la microbiota en nuestra salud es tan alto que algunos investigadores la llaman «el órgano olvidado». Por peso, bien podría ser un órgano más, ya que tenemos unos 200 g de bacterias en el intestino que cumplen funciones de lo más diversas y esenciales para nuestra salud. Nos ayudan a hacer la digestión o a fabricar un montón de sustancias, como algunas vitaminas, nos defienden frente a otros microorganismos que podrían provocar infecciones, programan a nuestro sistema inmunitario para que funcione bien... La calidad de nuestra vida depende, en buena medida, de la calidad de nuestra microbiota; en realidad nuestra microbiota forma parte de quienes somos. Podríamos decir que «soy yo y mi microbiota» o, en otras palabras, **que somos un holobionte**.

¿Recuerdas que Lynn Margulis, la científica rebelde, nos hablaba de la cooperación y no sólo de la competencia como motor de las fuerzas evolutivas? Nos explicó cómo las formas de vida compleja, entre las que se encuentra nuestra especie, no podrían haber surgido sin la historia de amor entre nuestras células y las mitocondrias primitivas. Pero nuestra salud depende también de la cooperación con otros seres vivos. De ahí que esta prodigiosa investigadora acuñara el término «holobionte» en su trabajo *Symbiogenesis and Symbioticism*. Deriva del griego antiguo *hólos*, que significa ‘todos’, y *bios* que significa ‘organismo’, ‘ser vivo’ y hace referencia a un organismo compuesto por un huésped y una variedad de especies que cohabitan en él. El huésped y sus simbiontes forman lo que se denomina una «unidad ecológica».

Los descubrimientos sobre la microbiota constituyen una de las mayores revoluciones de la historia de la ciencia y la medicina.

Constituyen un campo de investigación tan extenso que hablar de microbiota nos llevaría un libro entero. Afortunadamente, si quieres profundizar en la materia, el libro de referencia en este universo bacteriano ya existe: *¡Es la microbiota, idiota!*,[14] de la doctora Sari Arponen.

18.1. Los posbióticos

Como ya descubrimos al hablar sobre la inflamación crónica, tu sistema inmunitario precisa de una microbiota saludable, pero tus mitocondrias también. Ya sabes que, en esencia, las mitocondrias son bacterias venidas a más, por lo que se llevan fenomenal con las bacterias buenas que habitan tu cuerpo. ¡Como para no llevarse bien! Una microbiota saludable produce lo que se conocen como **«posbióticos»**, sustancias altamente beneficiosas para tus mitocondrias como el butirato y fitoquímicos activados como la urolitina A, que aparecen después de que la microbiota metabolice distintas sustancias.

Por otro lado, cuando el perfil de las bacterias que habitan tu cuerpo no es el idóneo y se instaura lo que se conoce como «disbiosis», la salud de tus mitocondrias se resentirá, ya que se verán afectadas por sustancias tóxicas producidas por bacterias como la *Klebsiella*, la *Citrobacter* o la *E. coli*. De ahí la importancia de llevar un estilo de vida probiótico, basado en hábitos saludables enfocados en mejorar la composición de nuestra microbiota.

Bacterias productoras de butirato

A estas alturas, ya conoces de sobra a nuestro amigo el butirato, un ácido graso de cadena corta que es la ambrosía de nuestras mitocondrias. Sus propiedades, que conocimos en el capítulo 13, son tremendamente beneficiosas para nuestras mitocondrias. Ya sólo nos queda hablar de cómo una microbiota saludable es capaz de producir este maná mitocondrial.

Existen bacterias denominadas «butirogénicas» que son capaces de producir butirato a través de la fermentación de fibras como la inulina y almidones resistentes. Algunos ejemplos de estas bacterias son *Faecalibacterium Prausnitzii*, *Eubacterium rectale*, *Roseburia hominis*,

Coprococcus y *Butyricimonas*. ¿Qué alimentos gustan a estas bacterias?

- Aceite de oliva virgen extra (AOVE)
- Especias y hierbas aromáticas como el ajo, el romero, el orégano, el jengibre, la canela, el fenogreco, la albahaca, la cúrcuma y la cayena.
- Frutos secos: especialmente, los pistachos, las nueces, las almendras con piel, las pecanas y las avellanas
- Flavonoides: té verde, manzanas, cebollas, granadas, frutos rojos, cacao…
- Fibra de las setas, la remolacha, las semillas de lino, el trigo sarraceno, el salvado de avena y el almidón resistente del plátano verde y tubérculos enfriados

Pestos

Teniendo en cuenta los alimentos que les encantan, una de las mejores formas de alimentar a las bacterias productoras de butirato son los pestos. Éstos son una salsa a partir de aceite de oliva, ajo fresco, multitud de hierbas aromáticas y frutos secos, todo ello triturado, a la que dejamos macerar un par de días, la metemos en nevera y la podemos comer durante toda esa semana.

El almidón resistente

El almidón es la porción del almidón que resiste a la digestión, por lo que llega intacto al colon, donde es usado como alimento (prebiótico) por las bacterias productoras de butirato. ¿Cuáles son las mejores fuentes de almidón resistente?

- Los plátanos verdes, tanto el plátano macho como el plátano (banana) sin madurar.
- El mango y la papaya verdes sin madurar, mezclados en pequeñas cantidades en ensaladas.
- Los tubérculos (patata, boniato, ñame, taro, yuca…) y el arroz (sobre todo, de grano largo, como basmati o jazmín) enfriados.
- Si no tienes problemas digestivos (hinchazón, gases…) ni una enfermedad autoinmune en brote, las legumbres son muy ricas en almidón resistente, sobre todo, si también se enfrían. Recuerda que siempre debes ponerlas al menos 12 horas con agua y el zumo de un limón y luego cocinarlas correctamente (añadiendo especias digestivas como laurel, hinojo, comino…) para evitar que sean indigestas.

Trigo sarraceno

El trigo sarraceno es un pseudocereal antiguo, sin gluten, de la familia *Polygonaceae*, muy rico en nutrientes saludables y beneficiosos para la microbiota y las mitocondrias, como los flavonoides (rutina, quercetina, orientina, isoorientina, vitexina e isovitexina) y el almidón resistente. Sin duda, el pan de trigo de masa madre es la opción más nutritiva en cuanto a pan se refiere. También puedes cocinar los granos de trigo sarraceno a modo de arroz y con su harina puedes hacer creps deliciosos (las famosas *galettes* francesas se hacen con esta harina). Sin embargo, el hecho de que sea muy saludable no quiere decir que tengas que comerlo a diario. Recuerda que no debes caer en embudos alimentarios.

Una microbiota saludable activa los fitoquímicos

Como hemos visto anteriormente, a nuestras bacterias les encantan los fitoquímicos como los flavonoides. Resulta muy interesante saber que este vínculo que se establece entre los fitoquímicos y las bacterias simbióticas es bidireccional. Al fermentar las plantas, las bacterias activan los fitoquímicos, aumentando sustancialmente sus propiedades medicinales. Aquí tenemos otra de las ventajas de una microbiota intestinal saludable, la de potenciar el beneficio de los fitoquímicos en nuestro organismo.

Según los estudios, entre los activadores más potentes de fitoquímicos se hallan bacterias probióticas como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus colinoides*. Estas cepas se desarrollan en los alimentos fermentados como el chucrut o el kéfir, de ahí la gran importancia de incluir este tipo de alimentos en nuestro día a día.

Granada y la urolitina A

La granada está en el foco de muchos de los investigadores y divulgadores en materia de longevidad gracias a un posbiótico producido durante su digestión: la **urolitina A**. De hecho, la granada no contiene urolitina A, pero sí su precursor, los elagitaninos, que, una vez procesados por nuestra microbiota, se transforman en urolitina A.

La urolitina A es un potente regulador de la salud mitocondrial, ya que estimula la mitofagia, es decir, el reciclaje selectivo de las mitocondrias dañadas.

Los elagitaninos se encuentran principalmente en las granadas y frambuesas, pero también están presentes en otros frutos rojos como fresas, arándanos y moras, en algunos frutos secos (nueces, pecanas y castañas) y también en kiwis y uvas. El problema es que la producción de urolitina A depende de que en nuestro intestino vivan especies

como los lactobacilos y las bifidobacterias. Estas bacterias están presentes en alimentos fermentados como el chucrut, el kimchi, el yogur o el kéfir, sobre los que indagaremos en el siguiente apartado.

De ahí que sea tan interesante la combinación de yogur o kéfir con frutos rojos, granada o frutos secos, igual que añadir granada, frutos secos y un poco de chucrut (col fermentada) o kimchi a la ensalada. De esta forma, estaremos aportando tanto los precursores (elagitaninos) como las bacterias necesarias para sintetizar la urolitina A.

18.2. Alimentos fermentados

Los alimentos fermentados que están tan de moda no son más que una de las soluciones que tenían las culturas ancestrales para conservar alimentos como las verduras y los lácteos. En la actualidad, resultan fantásticos tanto para la salud de la microbiota como de las mitocondrias, ya que nos aportan tanto probióticos (bacterias beneficiosas) como posbióticos (fitoquímicos activados, NAD+ y butirato).

Los probióticos son cepas vivas de levaduras y bacterias que contribuyen al equilibrio y la diversificación de la microbiota, y ya sabemos que una microbiota sana y variada es algo deseable desde el punto de vista de unas mitocondrias saludables. Por ejemplo, sabemos que el *Lactobacillus plantarum* (presente en vegetales fermentados como el chucrut) mejora la función mitocondrial.

Además, el proceso de fermentación aumenta el número de compuestos activos de los alimentos. Por ejemplo, el contenido en sulforafano del chucrut es mayor que el de la col sin fermentar, el contenido en catequinas de la kombucha (té verde fermentado) es mayor que el del té verde, el contenido en alicina del ajo fermentado (ajo negro) es mayor que el del ajo y lo mismo ocurre con la curcumina y la cúrcuma fermentada.

Esto ocurre porque el proceso de fermentación de las verduras y especias hace que activen Nrf2, uno de los reguladores mitocondriales maestros, de una forma más potente. Dentro de los vegetales fermentados que debemos añadir a nuestra alimentación diaria, además de los citados chucrut, kimchi y ajo fermentado, están el vinagre de manzana, el miso, el tempeh u hortalizas como la remolacha, la zanahoria o los pepinillos.

Otro aspecto muy importante que revelan los estudios es la sinergia que se establece entre los vegetales fermentados y las especias y picantes. De ahí que quizá el mayor activador dietético de Nrf2 sea el kimchi.

El kimchi

El kimchi es toda una joya culinaria que nos ha regalado la cultura coreana. Se trata de una combinación de verduras, que incluye principalmente col, pero también zanahorias, rábanos, pepinos y cebollas, ajo, jengibre, varios tipos de chile, sal y salsa de pescado. La mezcla se encurte y fermenta, generando un alimento con un elevado número tanto de probióticos muy variados como de fitoquímicos que lo convierten en todo un *medicalimento*.

Vinagre de manzana sin pasteurizar

El vinagre de manzana sin filtrar y sin pasteurizar es **antiinflamatorio, antioxidante y probiótico**. Mejora la digestión, favorece una microbiota sana, aporta ácido málico que nutre a nuestras mitocondrias y ayuda a gestionar el azúcar en sangre mejorando la flexibilidad metabólica. Elige un **vinagre ecológico, sin pasteurizar y sin filtrar** y tómalo antes de comer o añádelo a ensaladas, encurtidos y marinados.

Además, con vinagre y otros ingredientes puedes hacer una pócima sanadora de tu intestino que mejora la microbiota y ayuda al proceso de desintoxicación hepática. Aquí te comparto la receta:

- 250 ml de agua filtrada tibia
- 1 cucharada de vinagre de manzana
- 1 cucharada de jugo de limón
- ¼ cucharadita de jengibre molido
- ¼ cucharadita de canela
- 1 pizca de pimienta de cayena (opcional)
- 1 cucharadita de miel local cruda o estevia (opcional)

Si optas por no ponerle miel, puedes tomarla por la mañana, sin miedo a romper tu ayuno, para «limpiar tu intestino» y poner a punto tu aparato digestivo para el desayuno. Si tienes digestiones pesadas, puedes tomar una taza unos 20 minutos antes de las comidas y te ayudará a digerir mejor los alimentos.

Lácteos fermentados

Los fermentados lácteos como el yogur y el kéfir también nos aportan grandes beneficios, siempre que sean de calidad y sin azúcar añadido ni edulcorantes ni sabores artificiales. Los ingredientes deberían reducirse a leche y bacterias beneficiosas.

Los de leche de cabra y oveja son más ricos en grasas de cadena media, un combustible óptimo para tus mitocondrias. Su composición es más parecida a la leche humana, con menos caseína y menos lactosa, por lo que en general es más sana y fácil de procesar por

nuestro organismo. Los lácteos de vaca son ricos en una proteína llamada caseína que puede inflamar nuestro organismo, alterar el equilibrio de la flora intestinal y empeorar las enfermedades autoinmunes. Sin embargo, la caseína de la leche de oveja y de cabra no presenta estos efectos adversos.

No hace falta que consumas alimentos fermentados en grandes cantidades, pero sí que sea algo habitual. Elige tus favoritos y **sé constante**, pero atrévete también a probar otras opciones. De nuevo, la diversidad es clave.

También es importante que los alimentos fermentados estén vivos, es decir, que no hayan sido pasteurizados.

Por último, si quieres descubrir más sobre los alimentos fermentados y cómo pueden transformar tu vida, te recomiendo *Entre fermentos* (Alienta Editorial, 2023), el libro de Javi Maeztu.

18.3. Otros hábitos probióticos

Tu microbiota no sólo depende de lo que comes. Hay muchos factores que impactan en la salud de este órgano olvidado. Aunque no vamos a citarlos todos, me gustaría resaltar algunos que muchas veces se pasan por alto.

La microbiota saludable también es hija de la adversidad

El contexto ideal para que se produzca un desequilibrio en la microbiota (disbiosis) en el que aumente el número de especies microbianas potencialmente patógenas es el del sedentarismo. Si además viene acompañado de un exceso de calorías en la dieta proveniente sobre todo de productos ultraprocesados, hemos hecho pleno. A las bacterias potencialmente peligrosas para nuestra salud les encantan las grasas de mala calidad, el azúcar, las harinas, la sal y los aditivos alimentarios.

Por el contrario, las bacterias beneficiosas tienen gustos más saludables y les encanta la comida real rica en fibra y fitoquímicos. Pero también les gusta el ejercicio físico y los ayunos intermitentes. Múltiples estudios han informado sobre cómo los ayunos cortos, de entre 13 y 14 horas, aumentan las bacterias productoras de butirato. Otro gran beneficio de los ayunos cortos es dar tiempo a nuestro sistema digestivo para que pueda limpiarse, convirtiéndose de ese modo en un hogar más agradable para nuestra microbiota.

En conclusión, parece que los excesos benefician a las bacterias patógenas mientras que un poco de adversidad va a favor de una microbiota más saludable.

En este punto, toca romper una lanza en defensa de una infusión caliente con limón por la mañana, en ayunas. Más allá de hidratarnos

(todas las personas se levantan deshidratadas) y del aporte de fitoquímicos beneficiosos, tomar un té calentito con limón, gracias a su temperatura y al contenido en ácido, es una gran estimulador del complejo motor migratorio. Éste es un mecanismo de limpieza de nuestro sistema digestivo que consiste en una serie de movimientos que se generan en el estómago y el intestino delgado, producidos por la contracción de la musculatura lisa durante los períodos de ayuno. Estos movimientos tienen como objetivo limpiar el aparato digestivo arrastrando los restos de los alimentos, secreciones digestivas y microbios de nuestro interior.

Tómate el té con limón al levantarte por la mañana y espera al menos 20 minutos para desayunar, así darás tiempo a actuar al complejo motor migratorio.

Contacto con la naturaleza

No hay penas en la tierra que la tierra no pueda curar.

JOHN MUIR, naturalista

Uno de los factores que más influyen en la composición de nuestra microbiota es el hábitat donde vivimos. Buena parte de las bacterias que habitan tu cuerpo provienen del medio ambiente que te rodea y, en este sentido, nada tienen que ver las bacterias que sobreviven al asfalto y al humo de las ciudades con las que viven felices en el agua, el aire, la hierba y el suelo de espacios naturales como la playa, el campo o el bosque.

En las zonas naturales abundan especies bacterianas relacionadas con la salud, como el *Faecalibacterium*, las *Prevotellas* o varias familias de *Bacillus*, mientras que en las áreas urbanas predominan algunas cepas de *Clostridium* y *Bacteroides* no tan beneficiosas.

El contacto profundo con la naturaleza enriquece nuestra microbiota al respirarla y al tocarla. Por eso es necesario que entremos en contacto con la tierra, que te manches con la «suciedad limpia» de la naturaleza. Sólo así podrás incorporar sus bacterias beneficiosas. Si el bosque te pilla muy lejos, no te preocupes: haz labores de jardinería en tu casa. Sea como sea..., mánchate las manos de tierra.

¿Quieres potenciar el efecto de la naturaleza? Llévate a tu perro, si lo tienes, al campo, déjalo que disfrute y, de camino, que incorpore en su pelo toda una colonia viva que estará deseando compartir

contigo. Los resultados confirman que tener una mascota en casa interactúa positivamente con la microbiota de nuestro organismo, a través del contacto físico con los animales. Así que, ya sabes, tómate una ración doble de *perrobióticos*.

Llámalo *earthing*, *grounding*, *forest bathing*, baños forestales, *shirin yoku* o conectarte a la naturaleza. Ponle el nombre que quieras, pero recuerda que la naturaleza cura y más si la compartes con tus seres queridos, incluidos los de cuatro patas.

18.4. ¿Qué es lo que daña nuestra microbiota?

Para tener una microbiota sana desde la infancia es mejor el parto por vía vaginal, algo que no podemos controlar, como también la alimentación con lactancia materna.

En el tramo final del embarazo, el canal de parto es poblado por multitud de bacterias beneficiosas (principalmente, lactobacilos y bifidobacterias) que el bebé asimila como parte de su microbiota, lo que no ocurre durante el parto por cesárea, en el que el neonato incorpora las bacterias del ambiente del paritorio, algo no muy saludable, como puedes imaginar. Numerosos estudios alertan de un mayor riesgo de alergias, obesidad, asma o diabetes en aquellas personas que nacieron por cesárea. La buena noticia es que, según la evidencia más actual, es posible restaurar, al menos en parte, las bacterias maternas que colonizan a los bebés nacidos por parto vaginal a los nacidos por cesárea frotando gasas, previamente introducidas en la vagina de la madre, después del nacimiento. En definitiva, lo que se hace es «sembrar» microbiota vaginal en bebés que no la han adquirido durante el parto.

Con respecto a la importancia de la lactancia materna, creo que a estas alturas poco nos queda que decir sobre sus bondades. La leche materna es el mejor alimento que un bebé puede recibir, pero también lo es para su microbiota. Los **oligosacáridos de la leche** humana o HMO (del inglés, *Human Milk Oligosaccharides*) son un tipo de azúcar especial que nutre a las bacterias beneficiosas.

A partir de ahí, como acabamos de leer, nos dañan el sedentarismo y una alimentación de mala calidad. Además de los antibióticos, hay muchos fármacos, como los mal llamados «protectores gástricos» y los antiinflamatorios, que dañan mucho a la microbiota.

Existen otros factores que tienen que ver con la salud ambiental y que están por todas partes, como la presencia de tóxicos en el ambiente, la contaminación atmosférica y los microplásticos que alteran el funcionamiento de nuestra microbiota. Estos factores

ambientales son muy difíciles de controlar y evitar, por lo que tenemos que mejorar en todo aquello que sí depende de nosotros para contrarrestar.

Un hábitat que sí está en tus manos mejorar quizá sea en el que pasas más horas de tu vida, tu hogar. Ya te hablé de la importancia de filtrar el agua para evitar multitud de sustancias tóxicas, pero de poco sirve si somos nosotros los que las vertimos en nuestra casa pasándonos de limpios.

¿Un mundo ultradesinfectado?

Cuando hablo de un exceso de higiene no digo que no nos tendríamos que lavar. Por supuesto que hay que tener una higiene adecuada. En cambio, tener exceso de higiene no es bueno. No necesitamos restregar nuestra piel todos los días con productos llenos de químicos agresivos. **En este sentido, un jabón natural es más que suficiente.**

Lo mismo ocurre con nuestro hogar. Tenemos metido en la cabeza que todas las bacterias son peligrosas cuando, en realidad, la mayoría son beneficiosas. En un intento de acabar con ellas usamos productos de limpieza que contienen ingredientes químicos como triclosán, disodium/tetrasodium EDTA/etidronate ftalatos, percloroetileno, 2-butoxietanol... que han demostrado ser tóxicos tanto para la microbiota como para las mitocondrias. Estas sustancias están presentes en productos de limpieza, desde limpiadores multiusos hasta lavavajillas. Y también en muchos artículos de higiene personal.

Productos como el **jabón natural de base vegetal** (de glicerina, coco, de Marsella...), el **vinagre blanco de limpieza**, el bicarbonato de sodio o el ácido cítrico (el principio activo del zumo de limón) resultan mucho menos agresivos y no son tóxicos. También existen productos de limpieza ecológicos y respetuosos con la microbiota que se venden sobre todo en ecotiendas. Ante la duda, lo mejor para esto es que busques asesoramiento.

19

La hemos liado parda con la grasa

Para nuestro cuerpo, mantener la temperatura corporal es una de las funciones más importantes. Necesitamos esos 36,5 oC (± 1 oC) para que las reacciones químicas de las que depende la vida se lleven a cabo de forma correcta. Cualquier desviación, por pequeña que sea, activará una serie de mecanismos, que pasan por reclutar mitocondrias, para mantener ese rango térmico a toda costa.

La activación periódica de estos mecanismos supone un gran entrenamiento para nuestras mitocondrias. En los últimos años hemos descubierto una relación muy beneficiosa entre la exposición al frío y nuestro metabolismo. Lo que ocurre es que, una vez más, la vida moderna, con su confort térmico basado en calefacción y Gore-Tex, ha hecho que estos mecanismos nunca se activen, por lo que se atrofian y, con ellos, nuestro metabolismo.

19.1. TERMOGÉNESIS: LA RESPUESTA DE NUESTRO CUERPO AL FRÍO

En respuesta al frío, nuestro cuerpo libera catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) y hormonas tiroideas que activarán las mitocondrias de la musculatura y de la grasa marrón, de la que hablaremos ahora. Esta activación no se da para producir ATP, sino para producir calor en un fenómeno que se conoce como **«termogénesis»** en el que están implicadas las proteínas desacopladoras (UCP) de las que ya te hablé. Recuerda que son unos canales por los que la energía se escapaba de la mitocondria en forma de calor sin pasar por la ATP sintasa.

Como vemos, para defendernos del frío, nuestro cuerpo consumirá tanto glucosa como grasa para producir calor en dos tejidos:

- La grasa parda o marrón
- La musculatura

También es importante tener en cuenta que la exposición al frío activa la AMPK, lo que potencia en consecuencia la biogénesis mitocondrial.

19.2. LA GRASA PARDA

El tejido adiposo marrón (*Brown Adipose Tissue* o BAT), grasa parda o grasa marrón es un órgano único y, hasta cierto punto, bastante

paradójico. La grasa parda es un tipo de grasa «quemadora de grasa»: su principal función es la de usar como combustible tanto la grasa que almacena como la glucosa que capta de la sangre para generar calor cuando sentimos frío. Lo consigue gracias a sus numerosas mitocondrias equipadas con proteína desacoplante-1 (UCP1).

En la típica célula de grasa, el interior del adipocito blanco lo domina una gran gota lipídica englobada en una gran vacuola que empuja tanto al núcleo como a las pocas mitocondrias que tiene contra la pared celular. En cambio, en el adipocito marrón, hay muchas gotas de grasa en el interior de pequeñas vacuolas rodeadas de una gran cantidad de mitocondrias.

De hecho, la grasa parda recibe su nombre del color amarronado que le confiere la mayor vascularización y, sobre todo, el número de mitocondrias que posee en comparación con el adipocito convencional, la célula de grasa blanca.

Las mitocondrias de la grasa parda son especiales porque, dada la mayor densidad de UCP (sobre todo UCP1) son menos eficientes produciendo ATP y generan mayor cantidad de calor. Un motor puede usar el combustible para generar movimiento, como en un vehículo, pero también para producir calor, como hace una estufa. Pues bien, las mitocondrias de la grasa parda son como estufas de calefacción, ya que usan como combustible la grasa almacenada en el interior de la célula y la glucosa y la grasa presentes en el torrente sanguíneo. Con ellas, en lugar de producir energía que sirva para las funciones vitales, consiguen producirla para liberarla directamente en forma de calor.

La grasa parda está presente en especial en el recién nacido. La razón es muy sencilla: al ser incapaces de tiritar o moverse para generar calor, los bebés dependen de este mecanismo para mantener la temperatura. Con la edad se va perdiendo e incluso hasta hace poco se pensaba que los adultos carecían de ella. Sin embargo, estudios recientes han confirmado que conservamos cierta cantidad de este tipo de grasa concentrada en el cuello, la espalda alta y la zona de las clavículas.

A mayor cantidad de grasa marrón en una persona, mayor será su metabolismo basal: consumirá un mayor número de calorías en reposo disipándolas en forma de calor evitando que éstas se acumulen en el organismo. Pero los beneficios de la exposición al frío y la grasa parda van mucho más allá de las calorías que se queman y tienen mucho que ver con el entrenamiento metabólico que suponen.

Plasticidad del tejido adiposo

Los estudios han revelado que el tejido adiposo tiene una alta plasticidad. Con el estímulo adecuado, los adipocitos blancos pueden convertirse en tejido adiposo beis en un proceso que se denomina

«pardeamiento», que da lugar a unos adipocitos híbridos entre la grasa blanca y la marrón que llamamos *brite* (*brown in white*), con características similares a los marrones. Tienen bastantes mitocondrias, aunque no tantas como en el marrón, que ha desarrollado una notable capacidad termogénica (al expresar bastantes UCP) y también bastantes vacuolas de grasa en lugar de esa única vacuola de grasa propia del tejido adiposo blanco.

	[illegible]				
Expresión de UCP1					
[illegible] mitocondrial					
[illegible]					
[illegible]					

Fuente: Elaboración propia.

19.3. Cómo activar nuestra grasa parda

El factor que activa la termogénesis en el tejido adiposo blanco, convirtiéndolo en marrón, es la estimulación adrenérgica, es decir, con catecolaminas. Los principales estímulos que activan las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) son:

- El ejercicio físico
- El ayuno intermitente
- Algunos fitoquímicos
- **La exposición al frío**

También es importante que sepas que tanto el tejido marrón como el beis pueden sufrir un blanqueamiento cuando no se activan las catecolaminas, ante inflamación crónica, en el envejecimiento, ante una aclimatación a altas temperaturas o un confort térmico excesivo y, muy importante, ante estrés psicológico crónico.

El cortisol disminuye la grasa marrón, la adrenalina la aumenta.

Estrategias para aprovechar el frío

La exposición al frío es el principal estímulo activador de la termogénesis producida por nuestras mitocondrias. El frío funciona por hormesis que, como sabemos después de haberla estudiado en capítulos anteriores, consiste en estímulos cortos e intensos pero

seguros. Para mejorar la salud de tus mitocondrias no necesitas pasar frío constantemente, sino estímulos agudos puntuales. Como siempre, debes empezar poco a poco y avanzar a tu ritmo desde las estrategias más sencillas hasta las más extremas. Algunas de las estrategias que puedes usar son:

- Menos confort térmico
- Exponerte al agua fría
- Duchas frías
- Baños de hielo

Menos confort térmico

En casa, baja la calefacción y apágala de vez en cuando. Intenta pasar al menos un par de horas a una temperatura por debajo de 19 oC; no se trata de que tirites, pero una leve piel de gallina supone un estímulo muy saludable para tus mitocondrias.

No te abrigues antes de salir de casa, espera a que tu cuerpo sienta el frío y te pida el abrigo. Cuando tirites mínimamente, habrás activado tus mitocondrias. De vez en cuando, sal con menos ropa en invierno, no totalmente desabrigado, pero tampoco te protejas en exceso. Un paseo de 20-30 minutos con ropa ligera será otro poderoso estímulo.

Aprovecha el invierno para entrenar al aire libre ligero de ropa. Varios estudios demuestran que el ejercicio en condiciones de frío activa de una manera muy poderosa nuestro metabolismo. En mi caso, yo suelo salir a correr siempre en pantalón y camiseta cortos. Salvo por los guantes, no me abrigo. Los primeros metros son algo más durillos, pero, en cuanto la maquinaria metabólica se activa, todo fluye.

Exponerte al agua fría

Antes de meternos de lleno en el agua fría me gustaría presentarte a Susanna Søberg, una de las mayores investigadoras y divulgadoras de los beneficios de la exposición al agua fría y su impacto en la grasa parda y autora del libro *Baños en aguas frías: El secreto escandinavo para llevar una vida más feliz y saludable*.[15] Sin duda, una lectura obligada (y muy amena) si quieres saber más sobre la materia. Enseguida entraremos en su método, pero antes voy a darte algunas indicaciones prácticas al respecto.

El agua presenta una conductividad mayor que la del aire, por lo que es mucho más eficiente robando el calor del cuerpo, lo que la convierte en una activadora muy potente de la grasa parda. El grado de exposición al agua fría es muy extenso, oscila desde sumergirnos en una bañera llena de cubitos de hielo hasta refrescarnos la cara y el

cuello con agua fría. Así que vamos a ir viéndolo poco a poco.

Si eres de esas personas que tienen aversión al agua fría (para qué nos vamos a engañar, son la mayoría), deberías saber que algunos expertos como el neurocientífico Andrew Huberman recomiendan como primer estímulo para activar la grasa parda sumergir la cara en agua helada durante 5 minutos al día, obviamente descansando para respirar. Esta técnica nos sirve, a su vez, de proceso de adaptación al frío. El siguiente paso del proceso es usar una bolsa de hielo enrollada en una toalla, unos minutos detrás del cuello mientras ves la televisión o lees.

Una vez le hayamos perdido el miedo al agua fría, podemos empezar con una rutina muy poderosa: las duchas frías.

Duchas frías

Consiste, simplemente, en darse una ducha de agua fría con foco en la espalda y el cuello cada mañana y aguantar, según la tolerancia que vayas desarrollando, hasta un máximo de 2-3 minutos al día. Recuerda que no es ninguna competición; la adaptación debe ser gradual. Si inicialmente sólo aguantas diez segundos, es suficiente, y así deberías ir poco a poco hasta llegar a los 2-3 minutos. Tampoco necesitamos que te duches directamente con agua fría. Puedes empezar con agua caliente tanto tiempo como quieras y terminar con agua fría.

Además de activar tus mitocondrias, la liberación de adrenalina, noradrenalina y dopamina que se produce al entrar nuestra piel en contacto con el agua fría mejorará nuestro estado de ánimo y la concentración y la energía con las que afrontaremos el resto del día.

Por supuesto, la mejor manera y más divertida de convertirte en un «hijo del frío» es bañarte durante todo el año —no sólo en verano— en el mar o en un lago, como cuenta Susanna Søberg en su libro. Lo ideal es aprovechar la inercia del verano y seguir bañándonos durante el resto del año. Esto tiene muchos beneficios metabólicos además de la sensación de libertad que te da el bañarte sin nadie. Que la temperatura no te limite para hacer algo que te gusta es una sensación muy liberadora. La piscina es otra opción, aunque muchas piscinas climatizadas están cerca de los 30 oC cuando lo ideal sería que no superasen los 24 oC.

¿Cómo de fría tiene que estar el agua?

Ésta es la pregunta que más me hacen y, sin embargo, es realmente imposible de responder, ya que algunas personas toleran el frío mejor que otras. Por debajo de 18 oC se considera agua fría y en la mayoría de los estudios utilizan temperaturas entre 5 y 15 oC. La clave está en que cuanto más frío sea el estímulo (inmersión en agua, ducha...), menos tiempo necesitarás exponerte. Para que te hagas una idea, el

efecto de sumergirte en agua fría (15 oC) durante una hora es similar al de 2-3 minutos en agua muy fría (~7 oC).

La clave es apuntar a una temperatura en la que pase por tu cabeza: «¡Hace mucho frío y quiero salir!», pero puedas quedarte dentro sin peligro. Como siempre, progresa gradualmente. Empieza con temperaturas incómodas pero tolerables. Si empiezas a tiritar, sal. Tus mitocondrias ya han recibido el estímulo necesario.

Según un estudio reciente publicado por la doctora Søberg, para obtener beneficios necesitamos una exposición deliberada al frío de al menos **11 minutos por semana en total**. Los podemos repetir de 2 a 4 sesiones de 1 a 5 minutos cada una distribuidas a lo largo de la semana. Por supuesto, podemos extender este tiempo, pero esto es lo mínimo para lograr los beneficios de la exposición al frío para el uso continuado.

Baños de hielo

Sin duda los baños de hielo o la inmersión en agua fría hasta el cuello son un estímulo mucho más poderoso, a pesar de que la evidencia nos dice que las duchas frías también funcionan y son más accesibles para la mayoría.

Además, los baños de hielo (agua a menos de 10 oC) pueden ser peligrosos para los no iniciados, así que el proceso debería ser gradual y quizá sea interesante que acudas antes a alguno de los cursos de formación oficiales del método Wim Hof, conocido como Iceman (El hombre de hielo). Es la referencia mundial en la inmersión en agua fría, cuenta con una legión de instructores formados por él a lo largo y ancho del mundo que estarán encantados de enseñarte la técnica que combina baños de agua fría, ejercicios de respiración y técnicas de enfoque mental. En España, yo tengo el placer de conocer a dos formadores oficiales y excelentes personas como son Luke Wills y Miguel de Juan.

Una cuestión importante es que la inmersión en agua fría (no así las duchas frías) puede limitar algunas de las ganancias en hipertrofia, fuerza o resistencia si se realiza en las 4 horas posteriores al entrenamiento. Es mejor esperar de 6 a 8 o más horas después del entrenamiento, a menos que tu objetivo sea simplemente recuperarte del entreno sin generar adaptaciones positivas, por ejemplo, después de competir.

Musculatura y termogénesis

Un músculo sano lleno de mitocondrias es la mejor maquinaria para producir calor. Prueba de ello es que, cuando sentimos frío, reclutamos a los músculos para generar calor mediante los escalofríos. Cuando tiritamos, generamos una contracción rítmica que tiene como

misión producir calor. Además, los escalofríos provocan la liberación en el músculo de succinato, una molécula que activa aún más la termogénesis de la grasa parda. Pero lo mejor de todo es que no tenemos que llegar a tiritar para que nuestro músculo produzca calor, ya que sus mitocondrias también son ricas en proteínas de desacoplamiento mitocondrial, en este caso del tipo 3 (UCP-3), que aumentan su concentración al exponernos de una manera frecuente al frío.

Con esto quiero decirte que las duchas de agua fría son geniales para tu salud, pero que su efecto es exponencialmente más alto cuando el agua fría cae en un cuerpo con una musculatura saludable.

Pero el músculo no sólo mejora la termogénesis del organismo en respuesta al frío. En respuesta al ejercicio físico, el músculo libera una mioquina llamada **irisina** que favorece el pardeamiento del tejido adiposo blanco.

Irisina

Corría el año 2012 cuando el grupo de investigación de Nick Bostrom descubrió una mioquina con unas propiedades excepcionales. La llamó irisina en honor a la diosa griega mensajera de las buenas noticias de los dioses a los humanos, Iris. Este nombre está muy bien elegido, ya que la función principal de la irisina es la de actuar como un mensajero químico que transmite los efectos beneficiosos del ejercicio físico al tejido adiposo y a otros órganos involucrados en el metabolismo.

La irisina es una mioquina secretada principalmente por el músculo en respuesta al ejercicio, ya sea aeróbico o de fuerza. Las investigaciones nos hacen creer que la liberación de irisina es proporcional a la intensidad del ejercicio.

La irisina permite la conversión del tejido adiposo blanco a tejido adiposo marrón, pero existe bastante evidencia científica que respalda que esta mioquina también aumenta la función mitocondrial y reduce la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Actualmente se estudia el papel protector de la irisina sobre patologías como el cáncer, la obesidad, la diabetes tipo 2, el deterioro cognitivo, así como en el proceso de envejecimiento.

Compuestos activos y termogénesis

En los últimos años, la ciencia se ha volcado en identificar componentes nutricionales que puedan inducir tanto la actividad de la grasa parda como el pardeamiento de la grasa blanca con el fin de estimular las mitocondrias de personas aquejadas de problemas metabólicos como obesidad o diabetes.

Si bien no cabe esperar resultados milagrosos, sabemos que el

efecto informado en estudios con sujetos humanos tiende a ser pequeño (en torno al 4-5 por ciento de elevación del metabolismo). Pero todo suma. Esta elevación del metabolismo la consiguen, en parte, estimulando la liberación de irisina.

Quizá el principal termogénico que exista sea la capsaicina, el principio activo que le da el sabor picante a **la cayena, el chile picante y la pimienta negra**. Sólo tienes que ver lo fácil que es romper a sudar, una prueba de la elevación de la temperatura, tras ingerir una comida muy picante. Además, especias y hierbas aromáticas como el tomillo, el orégano, la canela y el perejil contienen abundantes principios activos que estimulan la termogénesis.

En la actualidad, se están estudiando algunos otros compuestos interesantes como el polipéptido-P del melón amargo, el ácido hidroxicítrico de la *Garcinia cambogia*, el ácido clorogénico del café, las catequinas del té verde y del cacao, la curcumina de la cúrcuma y la genisteína del miso, además de nuestra vieja amiga, la quercetina.

Si hablamos de nutrición, no puedo dejar de mencionar un artículo muy interesante en el que se usaron 3 g de la especia cardamomo al día durante tres meses como intervención en pacientes con hígado graso no alcohólico. Los autores encontraron una elevación en los niveles de irisina y en la actividad de la grasa parda. También mejoró el metabolismo de la glucosa y las grasas. Eso sí, la mejoría fue modesta. No esperes milagros por añadir cardamomo al café, como hacen en Turquía, Siria o Líbano, aunque, dicho sea de paso, está buenísimo. Y, con un poquito de canela, ya ni te cuento.

Grasas que activan la grasa «quemagrasa»

Aunque parezca un trabalenguas, las grasas saludables también activan la grasa parda y ejercen un efecto positivo sobre el metabolismo. Los tres tipos de grasa fundamentales, de los que ya te he hablado, son las grasas omega 3, presentes sobre todo en el pescado y marisco; los triglicéridos de cadena media, abundantes, por ejemplo, en el aceite de coco, y el butirato producido por nuestro hígado, nuestra microbiota y presente en pequeñas cantidades en la mantequilla.

Los extremos terminan por tocarse

Nuestro organismo también libera irisina en respuesta a los cambios térmicos. La más estudiada es la respuesta al frío, pero la irisina es una chica de extremos a la que también le van las altas temperaturas. El calor de la sauna o de un baño caliente estimula la producción de irisina y de la proteína factor de choque térmico 1 (HSF1) que inducen el pardeamiento de la grasa blanca.

En un estudio de intervención, veintiuna mujeres sanas de unos

treinta años de edad, se sometieron a un **baño en agua caliente a 42** º**C durante un total de 30 minutos**, si bien éstos no fueron continuos ya que se les permitía descansar 5 minutos cada 5 minutos de inmersión. Al terminar, se tomaron muestras sanguíneas en las que se constató una elevación en los niveles de irisina circulante.

Como ves, los baños calientes además de ser una gozada, son muy beneficiosos para tus mitocondrias. Pero ahora toca subir el nivel de calor y hablar de la sauna.

20
Sauna, la imitadora del ejercicio

En cualquiera de sus modalidades, tanto húmeda como seca o infrarroja, la sauna es un potente activador mitocondrial. Numerosos estudios, entre los que tenemos que volver a agradecer la labor de Susanna Søberg, han demostrado que, al exponernos a altas temperaturas que oscilan entre 45 °C y 100 °C en períodos de corta duración, generamos una hipertermia leve (aumento de la temperatura del cuerpo) a la que nuestro organismo reacciona a varios niveles con una potente respuesta termorreguladora con el fin de mantener la homeostasis. En otras palabras, hormesis pura y dura.

20.1. Simular el ejercicio físico

El choque térmico que produce la sauna en nuestro cuerpo hace que éste ponga a trabajar al aparato cardiocirculatorio para disipar el calor. La frecuencia cardiaca y el gasto cardiaco aumentan de un 60 a un 70 por ciento para redistribuir de un 50 a un 70 por ciento de la circulación hacia la piel y facilitar así la sudoración con el fin de refrescar el cuerpo. Esto convierte la sauna en un excelente entrenamiento cardiorrespiratorio a la altura del ejercicio aeróbico.

Pero la sauna no sólo simula el ejercicio en cuanto a la función cardiorrespiratoria. También lo hace a un nivel más profundo. Para protegernos del impacto del estrés por calor, nuestras células responden con una mayor expresión de proteínas de choque térmico (HSP) y de Nrf2, lo que se traduce en una potente respuesta antioxidante y una activación de los mecanismos de biogénesis mitocondrial. En un estudio de intervención sobre voluntarios sanos, la exposición repetida a la terapia de calor durante seis días seguidos aumentó los biomarcadores de la biogénesis y la función mitocondrial en un 28 por ciento y las HSP en un 45 por ciento.

Por si fuera poco, la sauna también dispara la liberación de hormonas como la testosterona y la hormona del crecimiento, que favorecen el desarrollo de masa muscular, el hogar predilecto de nuestras mitocondrias. Por todos estos motivos, la sauna se ha propuesto para el aumento del rendimiento deportivo y como una alternativa al ejercicio aeróbico para las personas que no pueden realizar actividad física debido a enfermedades crónicas o limitaciones físicas.

¿Qué dosis de sauna necesitamos para lograr estos beneficios?

Según los estudios llevados a cabo por Susanna Søberg, la dosis ideal es de 57 minutos de sauna a la semana, pero no es necesario que sea en una sola sesión y es incluso mejor dividirlos en dos o tres sesiones semanales. Según estudios recientes, parece que superar los 30 min/sesión en la sauna no aporta beneficios adicionales.

Los riesgos de las saunas son mínimos incluso para personas con problemas de corazón. Aun así, por seguridad, empieza con sesiones de 10-15 minutos y ve avanzando gradualmente. Si notas mareos o cualquier malestar, sal inmediatamente y no te olvides de hidratarte bien antes y después de usarla.

20.2. El protocolo Søberg completo para unas mitocondrias atómicas

¿Qué ocurre si sumamos los 57 minutos semanales de sauna a los 11 minutos de exposición al frío que también nos recomienda la doctora Søberg? Pues que los beneficios mitocondriales se disparan, mejorando la flexibilidad metabólica, la sensibilidad a la insulina, la salud cardiovascular y la muscular.

La exposición al frío y al calor se puede realizar en días distintos o en el mismo día. Lo ideal, sin embargo, es que se haga el mismo día exponiéndonos al frío primero.

Un protocolo simple incluye 4 minutos de exposición al frío seguidos de 20 minutos de sauna tres veces por semana.

Conviene que recuerdes que el baño en agua fría es mejor que las duchas frías, pero las duchas frías son mejores que nada.

Afortunadamente, gracias al auge de los centros deportivos, el uso de la sauna se ha democratizado y en la mayoría de estos recintos cuentan también con una bañera de agua fría. Sinceramente, después de leer decenas de artículos al respecto, me he dado cuenta del tremendo beneficio que tiene esta intervención. Más allá del bienestar que lograrás con este contraste frío/caliente gracias a la dopamina, noradrenalina y endorfinas que se generarán en tu cerebro, los beneficios metabólicos a nivel de mejora del sueño e incluso en la longevidad son muy notables.

21

La hipoxia intermitente

De pequeño, uno de mis deportes favoritos era el ciclismo. Los meses de julio me pasaba horas enteras viendo el Tour de Francia. Nací en los ochenta, así que, como te podrás imaginar, mi ciclista favorito era el gran Miguel Induráin. Había algo que me hacía sentir especialmente orgulloso; Induráin preparaba cada año la ronda gala en mi tierra, Granada. En mi ciudad, tenemos el pico más alto de la península ibérica, el Mulhacén, perteneciente a Sierra Nevada, y allí se ubica el Centro de Alto Rendimiento. Dada la altura a la que se encuentra, tiene una característica muy especial: su carencia de oxígeno o, lo que es lo mismo, la hipoxia. Por esa razón, deportistas como Induráin decidían pasar parte de su entrenamiento en Granada.

Tanto el ciclismo como el maratón son el paradigma de ejercicio aeróbico. Estas pruebas no se podrían cubrir energéticamente sin unas mitocondrias funcionado a modo de locomotoras quemando grasa, usando para ello cantidades ingentes de oxígeno.

Hablando de locomotoras, me viene a la cabeza Emil Zátopek, la «Locomotora Humana», a quien se considera el mejor corredor de todos los tiempos porque consiguió una gesta única en la historia del atletismo olímpico: ganar los 5.000 y 10.000 metros lisos, además del maratón, en una misma edición de los Juegos Olímpicos (Helsinki, 1952). Imagina las supermitocondrias de este señor, a quien le tenemos que agradecer esta frase: «Si quieres correr, corre una milla; si quieres cambiar tu vida, corre un maratón».

21.1. El oxígeno, el factor limitante del metabolismo mitocondrial

Al metabolismo mitocondrial también se lo conoce como aeróbico, así que te puedes hacer una idea de la tremenda importancia del oxígeno para la mitocondria. Sin él, nuestras mitocondrias no pueden funcionar. Hagamos un rápido repaso: como ya sabes, cuando a la mitocondria no le llega el oxígeno suficiente, se activa por defecto el metabolismo anaeróbico, que se lleva a cabo en el citoplasma y sólo usa la glucosa como combustible. Sin la cantidad de oxígeno adecuada, no podemos usar grasa como combustible y tenemos que optar por vías que no son la ideal.

El VO2 máx es la capacidad máxima de consumo de oxígeno. Mide el máximo de oxígeno que podemos llevar hasta las células, por lo que, como podrás imaginarte, elevar esta magnitud es la obsesión en todos los deportes de resistencia. El VO_2 máx. depende de:

- La capacidad pulmonar: cuánto oxígeno pueden meter nuestros pulmones y cuánto dióxido de carbono (CO_2) pueden sacar.
- El gasto cardiaco: la capacidad del corazón para bombear sangre.
- Diferencia de oxígeno arterial-oxígeno venoso. Mide la diferencia en el contenido de oxígeno entre la sangre arterial y la sangre venosa y nos indica cuánto de éste ha sido usado por nuestras mitocondrias.

Cuanto más oxígeno seamos capaces de hacer llegar a las mitocondrias, mayor será su capacidad de producir energía. Pero este oxígeno tiene que emprender un largo viaje desde la atmósfera hasta el interior de las mitocondrias, que requiere la interacción del sistema respiratorio y del circulatorio. El mismo viaje, pero a la inversa, tiene que hacer el CO_2 resultante del metabolismo mitocondrial.

El viaje de los gases

En muy pocas palabras, podemos decir que respiramos para llevar oxígeno a nuestras mitocondrias para producir energía a partir de lo que comemos, generando dióxido de carbono (CO_2) como desecho metabólico, que expulsamos con cada exhalación.

En este viaje que emprende el oxígeno desde la atmósfera hasta nuestras mitocondrias tenemos dos estaciones de intercambio: los pulmones y la entrada en la célula.

La primera parte del trayecto, la de llevar el aire a los pulmones desde la nariz (y no desde la boca), la conocemos como **respiración externa**. En la segunda parte del viaje, el oxígeno ya filtrado del aire en los pulmones se difundirá a la sangre, donde será captado por la hemoglobina, la molécula de los glóbulos rojos que se encarga de transportarlo. Bombeada por el corazón, la hará llegar a todas las células de nuestro cuerpo a través de las arterias y los capilares. Si lo viéramos como un sistema de fontanería, nuestras arterias serían las tuberías grandes, muy fáciles de identificar, mientras que los capilares serían los pequeños vasos que riegan todos los tejidos.

Finalmente, el oxígeno entra en el interior de la mitocondria para que tenga lugar la denominada **respiración celular**. A esta parte del viaje de los pulmones a nuestras mitocondrias se la conoce como **respiración interna**. El CO_2 resultante será transportado por las venas a los pulmones, donde se expulsará con cada espiración.

Ilustración 19. Viaje del O_2 y el CO_2 en el organismo

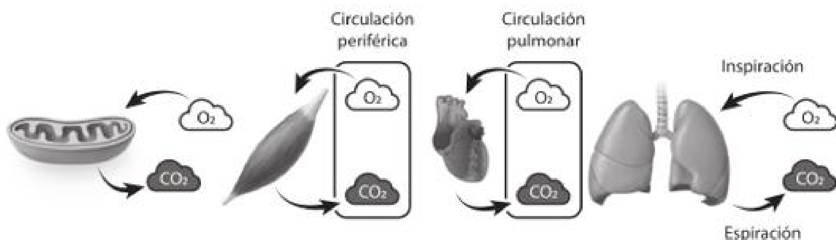


Ilustración: © Salomart.

21.2. Asegurar un buen flujo sanguíneo

Como vemos, un corazón y unos pulmones fuertes y sanos son imprescindibles para conseguir bombear todo el oxígeno necesario a las mitocondrias. Ésta es una de las razones por las que el entrenamiento aeróbico como salir a correr, nadar o ir en bicicleta mejora la capacidad de las mitocondrias.

Otro elemento muy importante es que la sangre debe fluir de una manera correcta por sus tuberías, el complejo entramado de vasos sanguíneos corporales que se encargan, por una parte, de alimentar los tejidos y, por otra, de facilitar la salida de residuos. Un buen flujo sanguíneo es vital para todos nuestros tejidos, pero, en especial, para el órgano que más oxígeno consume, el cerebro.

Estudios como el PESA (Progression of Early Subclinical Atherosclerosis) llevados a cabo por el grupo de investigación de Valentín Fuster ponen de manifiesto que en el cerebro con la enfermedad de Alzheimer hay hasta un 30 por ciento menos de perfusión sanguínea, un problema mayúsculo ya que necesitamos que la sangre fluya continuamente y sin obstáculos para recibir nutrientes y oxígeno. Algo interesante es que esta disminución del riego sanguíneo, conocida como «aterosclerosis subclínica» ya existe en fases de la enfermedad en las que aún no hay síntomas. Este hecho que hoy nos parece un gran descubrimiento, en realidad no es algo nuevo. A principios del siglo XX, Alois Alzheimer ya la describió como una enfermedad vascular y nos habíamos olvidado.

Por razones como ésta, la ciencia médica está investigando el desarrollo de sustancias que mejoren el riego sanguíneo de los tejidos. Lo bueno es que no necesitamos recurrir a modernos fármacos para mejorar el flujo sanguíneo cerebral; hábitos como el ejercicio físico, las técnicas de respiración o la práctica del *grounding* (está demostrado que reduce la viscosidad de la sangre) son efectivos para mejorarlo.

Además, tenemos la más completa de las farmacias en nuestra despensa, ya que existen principios activos en determinados alimentos con la capacidad de mejorar el «flujo de la vida».

Un nutriente esencial a la hora de mejorar el flujo sanguíneo es el omega 3. Según un artículo publicado en la revista médica *Journal of Alzheimer's Disease*, los estudios de neuroimagen en 166 personas que realizaban diversas tareas cognitivas mostraban un mayor flujo sanguíneo en regiones específicas del cerebro asociadas con la memoria y el aprendizaje en los individuos con niveles más altos de dos tipos de ácidos grasos omega 3, el ácido eicosapentanoico (EPA) y el ácido docosahexanoico (DHA).

Además de las grasas omega 3, existen principios activos como algunos tipos de polifenoles y flavonoides que son muy interesantes para mejorar el flujo sanguíneo. **Entre los alimentos con mayor cantidad de estos principios se encuentran**:

- El cacao
- El café
- El té verde
- La remolacha
- Los frutos del bosque en general y los arándanos en particular
- El brócoli
- El kale
- Plantas medicinales como el ginkgo biloba

Ginkgo biloba

El ginkgo biloba, también conocido como «árbol sagrado», con sus 270 millones de años de antigüedad, es considerado el árbol más antiguo del planeta. Sus hojas, usadas como infusión o para extraer de ellas sus poderosos componentes, tienen multitud de propiedades saludables, en especial en la función cerebral y la circulación sanguínea.

En la medicina tradicional china, se usa el ginkgo para abrir los canales de energía de distintos órganos, incluidos los riñones, el hígado, el cerebro y los pulmones. Hoy en día sabemos que este uso tradicional tiene mucho sentido, ya que el ginkgo contribuye a la dilatación de los vasos sanguíneos, lo que provoca una mejora del flujo sanguíneo en varias partes del cuerpo, muy especialmente a nivel cerebral. Una de las vías moleculares por las que consigue ese aumento del flujo sanguíneo es su capacidad de aumentar los niveles de óxido nítrico circulante, un compuesto vasodilatador. También la respiración nasal aumenta el óxido nítrico sanguíneo, algo que logra a su vez la exposición a los rayos UVB del sol.

Además, gracias a sus altos niveles de fitoquímicos como

flavonoides y terpenoides (bilobalida, isoramnetina, quercetina, kaempferol y ginkgólidos A, B y C), ayuda a combatir tanto el estrés oxidativo como la inflamación, dos de las grandes marcas de la disfunción mitocondrial.

¿Cuál es una buena dosis de ginkgo biloba? A modo de mantenimiento de la salud, basta con incluir infusiones de ginkgo de manera frecuente en nuestra dieta habitual. Pero si quieres un plus de efectividad puedes optar por un extracto: los estudios ponen de manifiesto que una dosis terapéutica efectiva se sitúa entre los 120 y los 240 mg/día. Cabe recordar que los beneficios del ginkgo no se obtienen de un día para otro; se necesita una latencia de unas seis semanas para percibir sus efectos beneficiosos.

21.3. Respira bien

Nuestra manera de respirar es buena muestra del frenético ritmo al que nos empuja la vida moderna. El estrés diario nos lleva a respirar por la boca en vez por la nariz, demasiado rápido y de forma superficial, quizá un ejemplo demasiado gráfico de las vidas que vivimos. Esto genera un intercambio masivo y excesivamente rápido de gases que tiene consecuencias negativas para la salud.

Para que la hemoglobina de la sangre libere el oxígeno que transporta y que entre en la célula a fin de cumplir su función y pueda a su vez captar el CO_2 para llevarlo hasta los pulmones y que sea expulsado, necesitamos que el intercambio entre los dos gases se haga de una manera pausada. Eso es lo que ocurre cuando respiramos por la nariz de manera lenta y profunda. Por el contrario, cuando respiramos por la boca de una manera acelerada y superficial, el aire entra y sale demasiado rápido de la circulación sanguínea sin dejar el tiempo necesario para que pueda difundirse a los tejidos.

Lo importante no es la cantidad de oxígeno que llevas en la sangre (respiración externa), sino cuánto puede ser utilizado por tus mitocondrias (respiración interna).

Como decía el doctor Buteyko, «cuanto mayor es la cantidad de aire incorporado a tu cuerpo, menos oxígeno es entregado». Paradójicamente, respirar más, especialmente por la boca, reduce la disponibilidad de oxígeno a nivel celular. Ésta es una de las razones por las que ante un ataque de ansiedad en el que comenzamos a hiperventilar podemos marearnos por una disminución de la oxigenación del cerebro, o cuando respiramos demasiado acelerados

nos cansamos antes, al no dar tiempo al oxígeno a ingresar en la mitocondria.

Una respiración lenta a una frecuencia de seis respiraciones por minuto genera una mejor oxigenación de los tejidos en comparación con un patrón de respiración de 15 respiraciones por minuto. La respiración nasal, lenta y profunda hace más eficiente al corazón y al aparato circulatorio en su función de llevar oxígeno a los tejidos. No es de extrañar que, en pacientes con hipertensión, tanto la frecuencia cardiaca como la presión arterial disminuyan con este tipo de respiración en comparación con respirar de forma más acelerada y por la boca.

Aunque la mayoría respiramos por defecto, podemos cambiar de forma voluntaria la manera en la que respiramos. Si quieres hacer un favor a tus mitocondrias, cierra la boca y respira por la nariz más despacio y profundo.

Hacer de esta forma de respirar algo plenamente consciente en lo que ponemos toda nuestra atención es la base de la respiración yóguica conocida como *pranayama*, que ha demostrado grandes beneficios para la salud y el bienestar de quienes la practican. Uno de los secretos de esta técnica milenaria es alargar la duración de la exhalación casi al doble que la inhalación. Con esto conseguimos una gran oxigenación de los tejidos y, además, tiene un profundo efecto relajante en nuestro organismo.

¿Cómo lo hacemos?

Simplemente inspira por la nariz lenta y profundamente. Una vez que sientas que tus pulmones se han expandido, vuelve a inspirar de nuevo, para llenarlos al máximo. Lo normal es que esta segunda inhalación sea más corta en duración y menor en volumen que la primera. Después, lentamente, exhala por la boca o nariz completamente todo tu aliento, alargando la espiración el doble de la inhalación.

Según un estudio de la Universidad de Stanford, con tan sólo 5 minutos al día de práctica de esta sencilla técnica ya se obtienen beneficios para la salud. Gracias a su potencial de relajación, siempre recomiendo a mis pacientes practicarla antes de irse a dormir. Cuando sientas que la vida te supera y el estrés te está ganando la batalla, para un instante y toma dos inhalaciones lentas y profundas por la nariz seguidas de una larga exhalación por la boca hasta liberar todo el aire de sus pulmones. Verás que después de hacerlo te sientes mucho mejor.

Si quieres aprender más sobre cómo usar la respiración para mejorar tu salud, Rubén Sosa (@medita_por_el_mundo) es tu hombre, tanto su libro *Respira aquí y ahora* como sus redes sociales están llenas

de valiosa información al respecto.

En conclusión, respirar de manera lenta, profunda y constante por la nariz mejora la oxigenación de los tejidos, mientras que una respiración acelerada y por la boca genera una hipoxia crónica de los tejidos. Pero ¿la hipoxia no es lo que usaban los ciclistas para mejorar su rendimiento? En efecto, pero la cuestión está en los detalles. La hipoxia crónica es dañina, la hipoxia intermitente es muy beneficiosa.

21.4. QUÉ ES Y CÓMO PRACTICAR LA HIPOXIA INTERMITENTE

El término **hipoxia intermitente** quizá te recuerde al famoso **ayuno intermitente**. En efecto, tienen algo en común. En ambos casos se trata de privar al cuerpo de algo esencial durante un tiempo corto para generar una serie de adaptaciones beneficiosas.

Aunque esta técnica te pueda parecer revolucionaria, sus beneficios se remontan muy atrás. Ya Hipócrates recomendaba a sus pacientes aquejados de problemas respiratorios que se trasladaran a vivir a las montañas para recuperarse, un enfoque similar al que usan los atletas profesionales desde hace años. Cuando ciclistas como Miguel Induráin entrenan en altura, lo que pretenden es exactamente usar la hipoxia a su favor. A 2.500 metros de altura, el aire contiene un 6 por ciento menos de oxígeno. Cuando vuelven al nivel del mar, su rendimiento mejora. La explicación está, entre otros mecanismos, en que la falta de oxígeno obliga al organismo a generar glóbulos rojos extra y más mitocondrias para compensar.

En la actualidad, la ciencia ha ideado sistemas que simulan la vida en altura mediante una generación de aire hipóxico que es respirado permaneciendo en una cámara de hipoxia o administrado con mascarilla. De esta forma, se generan los beneficios de entrenar en la montaña sin movernos del sillón.

Lo bueno es que también podemos lograr efectos parecidos sin necesidad de irnos a entrenar a la montaña ni tener que usar costosos equipamientos. Según el resultado de múltiples estudios en deportistas como ciclistas, nadadores o jugadores de *rugby*, éstos mejoraron su capacidad cardiorrespiratoria y su rendimiento simplemente pidiéndoles que vaciaran los pulmones de aire (lo que se denomina «de bajo nivel pulmonar») y que aguantaran la respiración mientras esprintaban.

Este método de entrenamiento basado en la repetición de *sprints* cortos (< 30 segundos) máximos en hipoxia, se conoce como «entrenamiento de *sprint* repetido en hipoxia». Ya, ya sé que el nombre no es muy original. Es un concepto que puedes introducir en tu día a día, cuando estés entrenando (por ejemplo, haciendo en apnea la última serie de un Tabata) o en tus *snacks* de movimiento. Incluye algo de ejercicio en hipoxia como sentadillas, flexiones, un *sprint*,

burpees, saltos, *jumping Jacks* o lo que se te ocurra. No te voy a engañar: no es agradable pero sí muy beneficioso y tampoco es necesario que desfallezcas aguantando la respiración para obtener los beneficios.

Beneficios de la hipoxia intermitente

- Maximiza el VO_2máx, estimula la formación de nuevos glóbulos rojos (eritropoyesis), aumenta el diámetro de los vasos, produce vasodilatación periférica, disminuye la presión arterial.
- Acelera el proceso de renovación mitocondrial, activando la mitofagia (destruye metódicamente las agotadas mitocondrias viejas) y estimula la biogénesis mitocondrial (la proliferación de mitocondrias más sanas y fisiológicamente más jóvenes).
- Mejora la flexibilidad metabólica, incluida la resistencia a la insulina.
- Aumenta la producción natural de la coenzima Q10 endógena y la protección contra la acción del estrés oxidativo.

Técnica de hipoxia intermitente

La técnica de respiración de hipoxia intermitente también se conoce como «hiperventilación cíclica con retención». Es la técnica que se lleva a cabo en métodos como el Buteyko, Wim Hof o tummo y se basa en una serie de inhalaciones y exhalaciones profundas y rítmicas, en las que cogemos aire con más intensidad y duración del que lo soltamos (inspiramos con intensidad y para espirar simplemente dejamos ir el aire).

Con estas superrespiraciones, lo que hacemos es saturar la sangre de oxígeno. La última exhalación del ciclo la hacemos más prolongada para finalizar con un tiempo de retención, en el que aguantamos la respiración durante un tiempo considerable. Durante este período de hipoxia, damos un momento de calma al organismo, a la vez que un estímulo para que ese oxígeno que inunda nuestras arterias penetre en la célula y de ahí a las mitocondrias.

Este tipo de técnicas aportan todos los beneficios anteriormente nombrados además de un plus de oxigenación cerebral, que te conduce a un estado de calma y bienestar y a una mejor concentración y claridad mental. El otro gran beneficio que aporta es el de lograr una mayor alcalinización de los tejidos, lo que desactiva los receptores de acidez (bajada del pH) ASIC implicados en la fatiga y el dolor crónico.

Veamos ahora esta técnica de respiración paso a paso.

1. **Ponte cómodo**, sentado o tumbado, lo que sea más cómodo para

ti. Dado que al principio es fácil que puedas marearte, te recomiendo que comiences a experimentar con la técnica tumbado.

2. **De 30 a 40 respiraciones profundas**. Cierra los ojos y trata de despejar tu mente. Sé consciente de tu respiración, intenta conectarte con ella. Inhala profundamente por la nariz (si no fuera posible, hazlo por la boca) y exhala sin forzar por la boca. Inhala llenando primero completamente el vientre y luego todo el pecho. La exhalación se hace soltando el aire sin forzar. Repite esto de 30 a 40 veces, aunque al principio con 20 respiraciones será suficiente.

   Es normal experimentar mareos y hormigueo en los dedos de las manos y los pies. Estos efectos secundarios son completamente inofensivos.
3. **Apnea**. Después de la última exhalación, inhala una última vez tan profundamente como puedas. Luego deja salir el aire y deja de respirar. Aguanta la respiración el máximo tiempo, hasta que sientas la necesidad de respirar nuevamente.
4. **Aliento de recuperación**. Cuando sientas la necesidad de respirar de nuevo, hazlo profundamente llenando a tope los pulmones. Siente cómo se expanden al máximo y entonces vuelve a contener la respiración, esta vez tan sólo durante 10-15 segundos. Luego exhala.

Con esto habríamos completado un ciclo. Este proceso puede repetirse de uno a cuatro ciclos (al inicio es suficiente con tres). Después de completar el ejercicio de respiración, tómate tu tiempo para disfrutar del estado de calma y bienestar que se genera.

Te tengo que confesar que incluir esta práctica diaria en mi vida ha sido uno de los mejores hábitos que he podido adoptar y que me ayuda a ver las cosas de una manera más clara y calmada.

Según los artículos publicados por la doctora Ángela Navarrete-Opazo, el número de ciclos de hipoxia intermitente que deberíamos hacer al día para obtener los máximos beneficios suma un total de quince episodios, pero con sólo tres ciclos ya se experimentan efectos positivos. Lo bueno es que no tenemos que hacer todos los ciclos seguidos, podemos ir intercalándolos a lo largo del día. Por favor, ¡nunca hagas un ciclo de hipoxia conduciendo!

Una vez que te hayas familiarizado con la técnica, puedes llevarla a otro nivel, combinándola con ejercicios como flexiones o sentadillas, que puedes ejecutar después de las superrespiraciones y durante la

fase de apnea.

Algunas cosas que conviene tener en cuenta tanto para la técnica de respiración como para el entrenamiento en hipoxia son:

- El momento ideal para practicarlo es por la mañana temprano, en ayunas. En el resto de los ciclos que incluyas a lo largo del día, procura tener el estómago vacío.
- Este tipo de ejercicios no son recomendables para personas con problemas de hipertensión, cardiacos o con epilepsia, así como tampoco para mujeres embarazadas.
- Sobre todo al inicio, debe practicarse sentado o tumbado, ya que puedes marearte.
- No es una técnica de apnea, y nunca se debería usar debajo del agua.

En resumen, si quieres aprovechar todo lo que has leído para hacer que tu forma de respirar active tus mitocondrias, puedes seguir estos cuatro consejos:

- Comienza tu día con unos ciclos de hipoxia intermitente e introduce algunos entre tus actividades cotidianas.
- En tu día a día respira por la nariz, de forma lenta y profunda.
- Cuando entrenes o en tus *snacks* de movimiento, introduce ejercicios en hipoxia.
- Dedica 5 minutos por la noche a unas respiraciones yóguicas.

Antes de irnos, déjame contarte una cosa más sobre Emil Zátopek, nuestro campeón de atletismo olímpico. Zátopek era motivo de burla por parte de sus compañeros de carrera (me huele bastante a envidia) por dos cosas. La primera era que usaba una técnica de carrera destartalada; la segunda, una costumbre que había adoptado por su cuenta y que según él era uno de los secretos de su éxito: aguantar la respiración mientras corría.

Quinta parte

UNA RÁPIDA GUÍA PRÁCTICA

22

Alimenta tus mitocondrias

Ya estamos llegando al final de nuestra aventura juntos. Por eso quiero ir dejando todo cerradito para que lo tengas a mano y puedas llevarlo a la práctica con facilidad, lo que es, al fin y al cabo, mi mayor motivación. Es por ello que en esta última parte del libro encontrarás tres capítulos en los que vamos a hacer una recopilación de intervenciones que hemos visto a lo largo del libro. Así podrás encontrar de un vistazo toda la información práctica enfocada a sacarle el máximo rendimiento a nuestras mitocondrias.

22.1. La nutrición no es sólo comida

La nutrición consiste en «la reincorporación y la transformación de materia y energía de los organismos». Como ya hemos visto, la comida es materia y energía, pero hay otros nutrientes más allá de la comida como la luz del sol y el oxígeno, además de otros hábitos que nos llenan de energía. Por ello, además de enfocarnos en una alimentación de calidad **basada en comida real, variada y rica en plantas**, tenemos que prestar mucha atención a otros elementos que nos nutren.

- **Luz solar**. Exponte a la luz solar en todo su espectro. Siéntela durante el día, disfruta de la luz del amanecer, contempla atardeceres y evita la luz artificial por la noche.
- **Oxígeno**. Maximiza la oxigenación de los tejidos respirando correctamente (por la nariz), haciendo ejercicio aeróbico y practicando técnicas de respiración como la hipoxia intermitente.
- **Naturaleza**. Vuelve con frecuencia a nuestro verdadero hogar y trata de incorporarla en tu vida diaria. Cuida de plantas, pasea por parques, camina descalzo por el césped, la tierra o la arena.
- **Descanso y paz mental**. Duerme entre 7 y 8 horas. Dedica unos minutos al día a escucharte. Baja de revoluciones cuando sea necesario y pregúntate con frecuencia: «¿Me suma o me resta?».
- **Movimiento**. En todas sus expresiones. Priorizando hacerlo en ayunas, tanto aeróbico en la zona 2 (por ejemplo, caminando vigorosamente), como de fuerza y, por supuesto, de alta intensidad. Llena tu día de *snacks*... de movimiento intenso.
- **Ayuno nocturno diario** de al menos 13 horas, tratando de comer

un máximo de tres veces al día y también intentando consumir la mayor parte de las calorías diarias antes de las 15.00 horas.

- **Estímulos térmicos**. Exponte tanto al frío como al calor aplicando el protocolo Søberg.
- **Crea tu tribu**. No hay nada más nocivo para la salud que la soledad no elegida, así que pasa tiempo con los tuyos, hazles saber que te importan. Si no tienes un grupo donde poder expresarte tal y como eres, sin juzgar ni sentirte juzgado…, empieza a construir uno.

22.2. Los 25 alimentos imprescindibles para tus mitocondrias

Ahora me gustaría compartir contigo los alimentos más relevantes, según diversas publicaciones científicas, para la salud de nuestras mitocondrias y, en consecuencia, para lograr una longevidad llena de salud y bienestar.

Entre los criterios en los que se han basado los investigadores para incluir estos alimentos destacan su valor nutricional, su contenido en fitoquímicos y compuestos bioactivos, la ratio de metionina/glicina y su capacidad de impactar de manera beneficiosa en nuestra microbiota.

Por supuesto, esto no quiere decir que éstos sean los únicos alimentos que comas, pero sí que deberían ser los básicos sobre los que construir una alimentación saludable. El libro *Soy como como*[16] de mi amiga Núria Coll pueda servirte como una guía para una alimentación saludable.

1. **Agua filtrada**
2. Vegetales de hoja verde: **rúcula**, **kale**, lechuga, borraja, endivia, canónigos, diente de león, escarola, acelgas, espinacas…
3. Crucíferas: **brotes de brócoli**, brócoli, coliflor, coles de Bruselas, col verde, **col lombarda**, kale, rúcula, berros, colinabo, *bok choy*, rábanos…
4. Familia *Allium*: **ajo fresco y negro** (fermentado), cebolla, **cebolla morada**, puerro, cebolleta, cebollino…
5. Alimentos fermentados: vegetales como **chucrut**, **kimchi**, ajo negro, aceitunas de elaboración tradicional o pepinillos; aderezos como miso, tamari o **vinagre de manzana sin pasteurizar**; bebidas como té fermentado kombucha, kvas, kéfir de agua y, por supuesto, lácteos como **kéfir y yogur** (preferiblemente, de leche de cabra y oveja)
6. Setas: shiitake, setas de ostra, **champiñones**…
7. **Arándanos** y otros frutos rojos como fresas, frambuesas, moras, grosellas…
8. Especias y hierbas aromáticas: cayena, cilantro, eneldo, **cúrcuma**,

jengibre, **romero**, orégano, canela, clavo de olor, albahaca…

9. Frutos secos y semillas: **nueces**, **pistachos**, nueces de macadamia, avellanas, pecanas, nueces de Brasil, almendras y semillas de lino, chía, sésamo, calabaza…
10. **Pescado azul y marisco**: **sardinas**, caballa, salmón salvaje, **boquerones**, anchoas, bacalao, rodaballo, sepia, calamares, mejillones, ostras, gambas, berberechos…
11. Aves, en lo posible, de pastoreo o ecológicas: pollo, **pavo**, pato o codorniz
12. Hígado, en lo posible, de pastoreo o ecológicas: de ternera, cordero, cerdo, pollo o pavo y, sobre todo, **el hígado de bacalao**
13. **Huevos**, en lo posible, huevos ecológicos o de gallinas de pastoreo
14. **Caldo de huesos y gelatina**
15. **Aceite de oliva virgen extra**
16. **Aceite de coco virgen**
17. **Granadas**
18. **Manzanas**
19. **Té verde**
20. **Café**
21. **Remolacha**
22. **Aguacates**
23. **Cacao (85 % o superior)**
24. **Moringa**
25. **Alcaparras**

Una cosa son estos alimentos y otra el convertirlos en platos deliciosos. Por mi experiencia clínica, el secreto de las personas que consiguen cambiar su alimentación es el de aprender a cocinar de una forma saludable y deseable. Es por ello por lo que mi gran amiga vuelve a salir a relucir, esta vez para invitarnos a comer *En la cocina con la doctora Arponen*.[17]

22.3. Resumen de suplementos

Antes de nada: no te agobies. Los suplementos no son imprescindibles. Sin embargo, según la evidencia científica existen déficits que se repiten en casi toda la población y a los que ciertos suplementos podrían poner freno.

En cualquier caso, representan la guinda del pastel, no hay suplemento que pueda maquillar los efectos perniciosos de unos hábitos no saludables. Si bien las recomendaciones que planteo en este libro son muy seguras, desgraciadamente no tengo el placer de conocerte en persona, por lo que no te tomes esto como una recomendación específica. Si tienes algún problema de salud o una

condición particular, deberías ponerte en manos de un profesional que te guíe adecuadamente y te prescriba lo que puedes o debes tomar.

Básicos, de uso diario

- **Vitamina D**: 2.000-4.000 UI/día (atendiendo a estacionalidad y analítica sanguínea).
- **Magnesio**: 300-600 mg/día. Dividido en dos tomas: la mitad del magnesio por la mañana en forma de malato de magnesio y la otra mitad en forma de bisglicinato por la noche, entre 30 y 60 minutos antes de dormir.
- **Omega 3**: 1 gramo al día (no es necesario los días que comamos pescado).
- **Complejo B 50 metilado (METHYL B-COMPLEX 50).** A partir de los cuarenta años, un comprimido al día durante un mes al inicio de cada estación.

Uso habitual

- **Creatina monohidrato**: 3-5 g. Sin duda, es un básico para la salud mitocondrial, en especial a partir de los cincuenta años. Debe usarse de forma cíclica durante tres meses y uno o dos de descanso.
- **NAC**: 600 mg/día.
- **Glicina**: 2-3 g.

Otros suplementos interesantes:

- **Coenzima Q 10**: 100-300 mg/día, sobre todo si tienes problemas cardiovasculares y/o tomas estatinas.
- **Acetil L Carnitina**: 500-2.000 mg/día.
- **Ribosa**: 5-20 g/día. Recuerda que resulta muy útil en casos de fatiga.
- **Selenio** (en forma de seleniometionina): 200 µg/día en caso de hipotiroidismo.
- **L-Tirosina**: 500 mg-1 gramo, tres o cuatro veces por semana en caso de hipotiroidismo y para potenciar el efecto del entreno en ayunas.

23
Conquista tus mañanas

23.1. Protocolo de activación mitocondrial matutina

Parece ser que nuestras mitocondrias se muestran más activas en las primeras horas de la mañana, especialmente en la hora posterior al amanecer. Según los estudios, la capacidad de producir ATP mitocondrial es hasta un 40 por ciento más alta por la mañana respecto a la tarde y noche. Lo que es más interesante aún es que no sólo es capaz de producir más ATP, sino de producirlo de una manera más eficiente y con un menor desgaste de la mitocondria.

Por ello, buena parte de nuestro protocolo de activación mitocondrial debe pivotar en torno a la mañana. Todo lo que ocurra en la primera hora después de despertarnos será crucial. Si conquistamos nuestras mañanas, todo lo demás vendrá rodado ya que, recuerda, todo depende de la energía. Si desde la mañana tenemos nuestros motores en un estado óptimo, podremos afrontar lo que nos echen.

Este fenómeno es potenciado con el amanecer. De hecho, la luz solar de la mañana es el activador mitocondrial por excelencia. Así que lo ideal sería que nuestro despertar estuviera sincronizado con el amanecer. Tiene todo el sentido del mundo porque durante toda nuestra historia evolutiva, el comienzo de nuestro día lo marcaba el sol, no el despertador.

Si por tus exigencias personales, familiares o profesionales no pudieras acompasar tu despertar con el amanecer, no te agobies. Activa tus mitocondrias cuando te levantes y después trata de exponerte al sol de la mañana en la medida de lo posible.

23.2. Levántate más temprano

Soy consciente de que ésta, *a priori*, no va a resultar ser una de mis recomendaciones más atractivas. Pero si quieres activar tus mitocondrias, una buena idea es levantarte antes. Obviamente, este hábito no pasa por restar horas de sueño a tu vida, pero sí por restar tiempo de televisión nocturna, por lo que este paso debe ir acompañado de acostarnos antes en la misma medida de tiempo en la que adelantamos el despertador.

A la hora de despertar, evita las alarmas con ruidos estridentes. Estos sonidos diseñados para desafiar los nervios generan un pico de hormonas de estrés que no les viene nada bien a tus mitocondrias. Por el contrario, los despertadores que simulan sonidos de la naturaleza brindan un despertar más plácido, agradable y natural. Si no tienes la opción de este tipo de despertador, puedes usar una aplicación de teléfono que utilice sonidos naturales. Eso sí, recuerda poner el dispositivo en modo avión para evitar las radiaciones

electromagnéticas tipo wifi, que son enemigas mitocondriales.

Levantarnos antes no lo es todo. Madrugar y perder una hora viendo las redes sociales y revisando e-mails no mejorará nuestro día. No debemos desperdiciar este valioso tiempo que le hemos ganado al día, ¡sino invertirlo en nosotros mismos! No pongas excusas, te lo mereces, es tu momento. **Regálate la primera hora de tu día.**

Una inversión en calidad de vida es adoptar la rutina matutina desarrollada por el experto en liderazgo **Robin Sharma**, asesor y *coach* de muchos de los empresarios más exitosos del planeta. Ésta es conocida como «fórmula 20-20-20» y te la voy a explicar con más detenimiento en el último apartado.

Exponte a luz brillante de la mañana lo antes posible

Ya sea para hacer ejercicio, dar un paseo, sentarte a meditar o a leer, es muy importante que dediques al menos de 10 a 30 minutos a exponer tu cuerpo a la luz del amanecer para absorber todo su espectro lumínico (luz azul, UVA, UVB, luz roja e infrarroja), que pondrá tus centrales energéticas a funcionar y sincronizará tu reloj interno, informando a tu cuerpo de que un nuevo día comienza y, por lo tanto, se tiene que poner en marcha. Es importante que no uses gafas de sol, porque, de ese modo, le estarás diciendo a tu cerebro que aún es de noche y que debes permanecer en modo descanso. Para activarte por la mañana no necesitas cafeína, necesitas **luz**.

Si por tus circunstancias personales no tienes acceso a la luz natural por la mañana, puedes usar una lámpara de luz roja e infrarroja unos minutos, seguida de otros minutos de lámpara de luz azul brillante (no hace falta que sea inmediatamente seguidas una de otra).

Recuerda que, después de despertar, es un buen momento para tomar tu agua calentita con limón. Yo suelo prepararme un té verde y también le añado malato de magnesio.

Estas horas tempranas de la mañana también son un gran momento para hacer algunos ciclos de ejercicios de respiración de hipoxia intermitente, que no sólo activan nuestras mitocondrias y oxigenan nuestro organismo (en especial el cerebro), sino que son capaces de elevar la dopamina cerebral.

23.3. Fórmula 20-20-20

> Vive como si fueras a morir mañana. Aprende como si fueras a vivir siempre.
>
> MAHATMA GANDHI, pacifista y pensador

Esta fórmula desarrollada por Robin Sharma nos dice que después de despertar, hay tres cosas más importantes que desayunar a las que dedicar tiempo:

- Al cuerpo: hacer algo de ejercicio, como correr, un paseo exigente o series en casa.

- Al espíritu: meditar.
- A la mente: crecer aprendiendo algo nuevo.

20 minutos de ejercicio por la mañana

Uno de los momentos ideales para practicar deporte es justo al levantarnos, ya que en este momento es cuando la biogénesis mitocondrial (recuerda que mediada por PGC1α) es más activa. El ejercicio físico activará tus mitocondrias, además de estimular al cuerpo para que produzca endorfinas (energía), dopamina (motivación y concentración) y serotonina (bienestar). Por esta razón, te sentirás con más energía, de buen humor y más relajado.

Además, al ejercitarte antes del desayuno, aprovecharás las ventajas del entrenamiento en ayunas. No necesitas mucho tiempo: con 15-20 minutos de ejercicio intenso según tus capacidades. Podría ser desde un paseo rápido, hasta una rutina HIIT en casa o salir a correr...

Activar tus mitocondrias con el ejercicio mañanero te cargará las pilas aportándote más vitalidad durante todo el día.

20 minutos de meditación o reflexión

Después de dedicar tiempo al ejercicio, una forma estupenda de proseguir con nuestra rutina de activación es invertir los siguientes 20 minutos del día a tu parte espiritual. Una práctica fácil de seguir es aprovechar para escribir un diario de gratitud, hacer algo de meditación o *mindfulness* o visualizar cómo sería tu día perfecto.

Meditar a primera hora, cuando el mundo está quieto y silencioso y tu mente aún no se ha llenado con el quehacer del día, te aportará concentración, paciencia y productividad para tu día.

Si crees que no tienes tiempo, con 5 minutos al día es un buen punto de partida. La perseverancia es más importante que la duración.

Si dispones de lámpara de luz roja, este momento es el ideal para usarla mientras meditas.

20 minutos de crecimiento personal

Los últimos 20 minutos de nuestra fórmula mágica son para enfocarnos en el crecimiento personal y en aprender algo nuevo. Léete unas páginas de un libro inspirador, estudia las vidas de grandes triunfadores leyendo sus biografías, citas célebres de filósofos y personajes ilustres, escucha un pódcast de un tema que te interese, lee un artículo, ve un vídeo... Recuerda: aprender es crecer.

Que lo perfecto no sea enemigo de lo bueno

Antes de que pienses que no te puedes levantar una hora antes a diario, recuerda que el cambio más pequeño hace la diferencia más grande. El marco de estos tres puntos importantes de la mañana es sólo una proporción. Si sólo tienes 30 minutos, en lugar de la hora completa, no hay daño en reducir el tiempo dedicado al 10/10/10 o

incluso 4/4/4 como punto de partida.

Lo importante es que empieces a regalarte tiempo de tu mañana y que sigas esta proporción.

Otro elemento modificable es el orden de los bloques. Quizá en tu caso te resulte más fácil empezar tu día meditando, después leer y terminar tu rutina mañanera con ejercicio físico al aire libre. O, por el contrario, prefieras entrenar unos minutos intensos en tu habitación para después salir a dar un paseo escuchando un pódcast mientras disfrutas del sol de la mañana. Recuerda: en este caso, el orden de los factores no altera el producto.

23.4. Desayuno

Después de dedicar tiempo a nuestra fórmula 20-20-20, es buen momento de continuar nuestra rutina matutina con un delicioso y nutritivo desayuno rico en proteína y grasas saludables. Lo ideal es que te sientes a desayunar después de haber tomado una ducha fría.

El desayuno es uno de los **momentos ideales para tomar un café** y algo de chocolate negro con el mayor porcentaje de cacao posible (más del 85 por ciento). De 15 a 20 g, que en general suelen ser una o dos onzas, dependiendo del grosor, es una muy buena medida. Ambos alimentos, café y cacao, son grandes activadores mitocondriales.

24
Creando la noche perfecta

24.1. Protege tu melatonina

Como ya sabes, la melatonina es el antioxidante perfecto para tus mitocondrias, cuya salud y función optimiza. Aunque la administración de melatonina como suplemento muestra algún beneficio, no se puede comparar con la melatonina producida por nuestro organismo. Sin embargo, la síntesis de esta sustancia tan beneficiosa se ve muy disminuida por el impacto de la vida moderna. Por ello, tenemos que poner especial énfasis en la necesidad de generar hábitos enfocados en protegerla, creando la noche perfecta para tus mitocondrias. Afortunadamente, hemos ido viendo estos hábitos a lo largo del libro, por lo que ahora sólo queda agruparlos. Y es lo que vamos a hacer.

La intervención más potente que tenemos para optimizar la producción de melatonina es la luz. Recuerda que nuestro cuerpo y, por supuesto, nuestras mitocondrias, esperan recibir luz roja al amanecer, azul durante el día, rojiza al atardecer y oscuridad en la noche. Eso es lo que vamos a darles.

Para profundizar en estrategias de mejora del sueño, te recomiendo *El manual de la cronobiología y los ritmos circadianos* de Marc Romera[18] y *La ciencia del buen dormir* de Javier Albares.[19]

24.2. Por la tarde

- **Exponte a la luz del atardecer**. Si tienes la posibilidad, sal a caminar 15 minutos antes de que se ponga el sol. Tus mitocondrias te agradecerán el regalo de la luz del atardecer, perteneciente al espectro rojo, y enviarás el mensaje a tu cerebro de que el día está acabando y debe prepararse para el descanso.

  Acuérdate de evitar luz azul artificial a partir de las 19.00 o 20.00 horas. Utiliza el modo nocturno de tus dispositivos, ayúdate de las aplicaciones gratuitas o, mejor aún, **hazte con unas gafas con filtro de luz azul**.
- **Cena temprano**. Somos seres diurnos y nuestro cuerpo espera recibir más energía de día. Comer antes de acostarse disminuye dramáticamente la producción de melatonina. Maximiza las calorías durante el día y reduce las calorías nocturnas, dejando que pasen al menos 2 horas sin comer antes de irte a la cama.

  Recuerda que:
- Los alimentos ricos en glicina como un buen caldo de huesos o la gelatina pueden ayudarte a mejorar el sueño.
- Los alimentos como las almendras, los kiwis y, en especial, los pistachos son ricos en melatonina.

24.3. Por la noche

Además de cuidar la luz y el contenido y horario de tu cena, para lograr dormir a pierna suelta tienes que poder soltar el estrés acumulado durante tu día. En este sentido, hay algunas cosas que pueden ayudarte:

1. Reflexionar sobre todo lo bueno que te haya pasado en el día y sentirte agradecido por ello.
2. Leer algo inspirador.
3. Hablar con tus seres queridos en vez de ver la televisión.
4. Hacer unos estiramientos. Un cuerpo rígido no puede albergar a una mente flexible.
5. Túmbate, elige la música que más te relaje y dedica unos minutos a un *body scan* mientras respiras por la nariz de forma lenta y profunda.

Antes de dormir, tienes otro buen momento para usar durante unos minutos tu lámpara de fotobiomodulación. Al acostarte, intenta que la habitación esté lo más oscura posible, ya que la melatonina se produce en ausencia de luz.

24.4. Suplementación para optimizar nuestro sueño

En cuanto a los suplementos para mejorar la calidad de tu sueño, no te voy a contar nada nuevo. La combinación de magnesio (200-500 mg de bisglicinato de magnesio) + melatonina (2-5 mg) + glicina (1-3 g) unos 30 minutos antes de irnos a dormir es lo mejor que te puedo recomendar. También puedes probar con cada uno de forma aislada.

Puedes completar esta fórmula magistral del descanso con alguna infusión relajante. La pasiflora y la melisa son mis favoritas para ayudar a conciliar el sueño.

Llegados a este punto, mi querido *anam cara*, sólo me queda volver a darte las gracias por haberme acompañado en el maravilloso viaje hasta el interior de nuestras mitocondrias. Espero que haya valido la pena y que la Fuerza (de tus mitocondrias) te acompañe.

Agradecimientos

He de admitir que escribir «mis agradecimientos» me resulta tremendamente difícil… y es que tengo que dar las gracias a tantas personas que necesitaría un libro entero para hacerlo. Dicho esto, ¡vamos a ello!

A mi familia, sé que no os dedico el tiempo que merecéis, pero quiero que sepáis que siempre os tengo presentes.

A María, mi persona favorita y mi compañera en este viaje que llamamos vida.

A mis tres *canhijos*: Ginger, Limón y Menta. Aparecisteis en mi vida para ponerla patas arriba pero hoy os habéis convertido en mis maestros del arte de vivir el momento presente.

A mis compañeros de trabajo (que son como de la familia) por tenerme «entre algodones», soportarme en mis momentos de ansiedad, sostenerme y, sobre todo, porque da igual lo que pase… siempre estáis ahí.

A mi prologuista, mi querida doctora Sari Arponen. Poco tengo que decirte que no te haya dicho ya en persona.

A mi coach y amiga Noelia Romero, por acompañarme en la presentación de *Hijos de la adversidad*, y por ayudarme a lidiar con mi omnipresente síndrome del impostor y hacerme ver que la vida estaba en ese paseo por Barcelona.

A Sergio Gómez y a Javier Butragueño, dos grandes referentes en lo relativo a las mitocondrias, por haberme dedicado semejantes testimonios.

A Roger Domingo, por volver a confiar en mí y a todo el equipo de Alienta. Héctor y María Sobrino, sin vosotros este libro no sería el mismo. A María José A. y María José B., por estar ahí siempre que os he necesitado. Y gracias sobre todo a mi editora, Carola Kunkel, por tu apoyo cuando más lo necesitaba, tus ánimos y tu cariño.

A todas las personas que se han tomado el tiempo de entrevistarme tanto en prensa, radio, televisión como en mis amados pódcast. Especialmente a tres grandes personas de cuyos programas jamás pensé ser participante, como «Lo que tú digas» de Álex Fidalgo, «Emotion Me» de Pedro Vivar, y «Soycomocomo» de Nuria Coll. Me habéis acompañado en muchos momentos buenos y no tan buenos, en mis paseos, en mis entrenos… La vida me ha dado la posibilidad de conoceros y comprobar que mi admiración hacia vosotros es más que merecida.

A toda la familia de Regenera, tanto a los fundadores, Carlos, David, Xavi y Néstor, como a Juan Carlos, Daniela, Claudia, Natalia, Lorena, María, Eleni, Patricia, Mireia… Gracias por hacerme sentir

parte de este proyecto, por cumplir mi sueño de ser profe de PNI y por confiar en mí para ser director del Máster en Microbiota Humana. También, por supuesto, mis agradecimientos al *dream team* de profesores que lo ha hecho posible decidiendo embarcarse conmigo en esta aventura: Sergi Godia, Eider Unamuno, Mariana Aróstegui, Asun González, David Granizo, Antonio Carmona, Almudena Nuño, Lorena Cervantes, Javi Maeztu y Miguel Toribio Mateas.

A todas las personas que habéis leído a mis «hijos de la adversidad». Me habéis acompañado en los eventos, me habéis saludado en la calle y, sobre todo, me regaláis vuestro cariño, ya sea en persona o por redes sociales. Existe una palabra que puede expresar lo que siento hacia todos vosotros y es *inefable*. Dice así: «Que no puede ser dicho, explicado o descrito con palabras, generalmente por tener cualidades excelsas o por ser muy sutil o difuso».

Según Lao Tsé, «la gratitud es la memoria del corazón». En mi caso, trato de no olvidar dar la gracias por tanto cada día.

Bibliografía

Libros

Albares, Javier, *La ciencia del buen dormir*, Ediciones Península, Barcelona, 2023.

Arponen, Sari, *El sistema inmunitario por fin sale del armario: Vive una vida plena, larga y saludable*, Alienta Editorial, Barcelona, 2022.

—, *¡Es la microbiota, idiota!: Descubre cómo tu salud depende de los billones de microorganismos que habitan en tu cuerpo*, Alienta Editorial, Barcelona, 2021.

—*En la cocina con la doctora Arponen: 80 recetas para alimentar tu microbiota y cuidar de tu sistema inmune*, Alienta Editorial, Barcelona, 2023.

Bascuñana, María Hernández, *Vitaminados: Disfruta de una vida más saludable gracias a la vitamina D*, Alienta Editorial, Barcelona, 2022.

Butragueño, Javier, *Entrena para la vida*, Editorial Transverso, Las Palmas de Gran Canaria, 2022.

Cañellas, Xavi *et al.*, *Alimentación prebiótica*, Plataforma Editorial, Barcelona, 2017.

Coll, Núria, *Soy como como: Una guía para mejorar tu alimentación y cuidar tu salud*, Editorial Grijalbo, Barcelona, 2023.

Grau, Ari, *Dieta keto: Restablece tu metabolismo, libérate del azúcar y gana salud para siempre*, Amat editorial, Barcelona, 2023.

Koolman, Jan; y Röhm, Klaus-Heinrich, *Bioquímica: texto y atlas*, Editorial Panamericana, Madrid, 2009.

McGouff, D.; y Little, J., *The Body by Science Question and Answer Book*, Northern River Productions Inc., Estados Unidos, 2009.

Maeztu, Javi, *Entre fermentos: Descubre los alimentos fermentados y cómo pueden transformar tu vida*, Alienta Editorial, Barcelona, 2023.

Montiel, Endika, *Ayuno consciente: Una práctica de autoconocimiento 4.0*, Editorial Planeta, Barcelona, 2020.

Nadal, Toni, *Todo se puede entrenar*, Alienta Editorial, Barcelona, 2015.

Nelson, David L.; y Cox, Michael M., *Lehninger: Principios de bioquímica*, Ediciones Omega, Barcelona, 2018.

Pollack, Gerald, *The Fourth Phase of Water: Beyond Solid, Liquid, and Vapor*, Ebner and Sons Publishers, Estados Unidos, 2013.

Romera, Marc, *El manual de la cronobiología y los ritmos circadianos*, Bubok Publishing, Madrid, 2022.

Rollier, A., «Arrivée d'un malade sur le solarium à l'aide de l'ascenseur (Les cliniques —Les Frênes—)» (fotografía), en *La cure de soleil*, Baillière et Fils, Francia, 1915, p. 60.

Sinclair, David A.; y LaPlante, Matthew D., *Alarga tu esperanza de vida: Cómo la ciencia nos ayuda a controlar, frenar y revertir el proceso de envejecimiento*, Editorial Grijalbo, Barcelona, 2020.

Sosa, Rubén, *Respira, aquí y ahora: Tu respiración es tu superpoder*, Editorial Vergara, Barcelona, 2022.

Søberg, Susanna, *Baños en aguas frías: El secreto escandinavo para llevar una vida más feliz y saludable*, Alienta Editorial, Barcelona, 2022.

«The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1931», The Nobel Prize Organization, Nobel Media AB, <https://www.nobelprize.org/search/?s=Otto+Warburg&nonce=1691011560000>.

Vivar, Pedro; y Tarí, Josué, *PNM. Programación neuromotriz: Descubre cómo la fisiología afecta a la psicología*, Lunwerg Editores, Barcelona, 2023.

Yogananda, P., *Autobiografía de un yogui*, Editorial Self-Realization Fellowship, Estados Unidos, 2018.

Artículos

Abraham, Guy E.; y Flechas, Jorge D., «Management of Fibromyalgia: Rationale for the Use of Magnesium and Malic Acid», *Journal of Nutritional Medicine*, 3 (1) (2009), pp. 49-59.

Achete de Souza, G. *et al.*, «Effects of Ginkgo biloba on Diseases Related to Oxidative Stress», *Planta Med*, 86 (6) (2020), pp. 376-386.

Ahmadi, Matthew N. *et al.*, «Vigorous physical activity, incident heart disease, and cancer: how little is enough?», *European Heart Journal*, 43 (46) (2022), pp. 4801-4814.

Alibegovic, A. C. *et al.*, «Insulin resistance induced by physical inactivity is associated with multiple transcriptional changes in skeletal muscle in young men», *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.*, 299 (2010), pp. e752-e763.

Allison K. C. *et al.*, «Prolonged, Controlled Daytime versus Delayed Eating Impacts Weight and Metabolism», *Curr Biol.*, 3 (2021), pp. 650-657.

Álvaro Naranjo, T.; Noguera-Salvá R; y Fariñas Guerrero, F., «La matriz extracelular: Morfología, función y biotensegridad (parte I)», *Rev. Esp. Pat.*, 42 (4) (2009), pp. 249-261.

Arhire L. I.; Mihalache, L.; y Covasa, M, «Irisin: A Hope in Understanding and Managing Obesity and Metabolic Syndrome», *Front. Endocrinol.*, 10 (2019), 524.

Arruza, J. *et al.*, «Esfuerzo percibido y frecuencia cardiaca: el control de la intensidad de los esfuerzos en el entrenamiento de judo», *Revista de Psicología del Deporte*, 9-10 (1996), pp. 29-40.

Artioli, G. G. *et al.*, «Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance», *Med Sci Sports Exerc.*, 42 (6)

(2010), pp. 1162-1173.
Balban, M. Y. *et al.*, «Brief structured respiration practices enhance mood and reduce physiological arousal», *Cell Rep Med.*, 4 (1) (2023), 100895.
Barolet, D.; Christiaens, F.; y Hamblin, M. R., «Infrared and skin: Friend or foe», *J Photochem Photobiol B*, 155 (2016), pp. 78-85.
Barolet, D., «Near-Infrared Light and Skin: Why Intensity Matters», *Curr Probl Dermatol.*, 55 (2021), pp. 374-384.
Begum, R. *et al.*, «Near-infrared light increases ATP, extends lifespan and improves mobility in aged Drosophila melanogaster», *Biol Lett.*, 11 (3) (2015).
Bhasin, M. K., *et al.*, «Correction: Relaxation Response Induces Temporal Transcriptome Changes in Energy Metabolism, Insulin Secretion and Inflammatory Pathways», *PLoS ONE*, 12 (2) (2017).
Bianconi, E. *et al.*, «An estimation of the number of cells in the human body», *Ann Hum Biol.*, 40 (6) (2013), pp. 463-471.
Bongoni, R., «Evaluation of different cooking conditions on broccoli (Brassica oleracea var. italica) to improve the nutritional value and consumer acceptance», *Plant Foods Hum Nutr.*, 69 (3) (2014), pp. 228-234.
Booth, F. W.; Chakravarthy, M. V.; y Spangenburg, E. E., «Exercise and gene expression: physiological regulation of the human genome through physical activity», *J Physiol.*, 543 (segunda parte) (2002), pp. 399-411.
Borg, G., «Psychophysical Bases of Perceived Exertion», *Medicine Science in Sports Exercise*, 14 (1982), pp. 377-381.
Boullosa, D. A. *et al.*, «Do olympic athletes train as in the paleolithic era?», *Sports Medicine*, 43 (10) (2013), pp. 909-917.
Boutcher, S. H., «High-intensity intermittent exercise and fat loss», *J Obes.*, 2011 (2011).
Brand, R., «Biographical Sketch. Otto Heinrich Warburg», *Clin Orthop Relat Res*, 468 (11) (2010), pp. 2831-2832.
Bratman, Gregory N. *et al.*, «Nature reduces rumination and sgPFC activation», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (28) (2015), pp. 8567-8572.
Brind, J. *et al.*, «Dietary glycine supplementation mimics lifespan extension by dietary methionine restriction in Fisher 344 rats», *FASEB J.*, 25 (2011), pp. 528.2-528.2.
Brooks, G.A., «The science and translation of lactate shuttle theory», *Cell. Metab.*, 27 (2018), pp. 757-785.
—, «Lactate as a fulcrum of metabolism», *Redox Biol.*, 35 (2020).
Brooks, G. A. *et al.*, «Role of mitochondrial lactate dehydrogenase and lactate oxidation in the intracellular lactate shuttle», *Proc. Natl. Acad. Sci. United States of America*, 96 (1999), pp. 1129-1134.

Casanova, A. *et al.*, (2023) «Mitochondria: It is all about energy», *Front. Physiol.*, 14 (2023).
Cavalier-Smith, T.; Brasier, M.; y Embley, M., «Introduction: how and when did microbes change the world?», *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 361 (2006), pp. 845-850.
Cheng, D. *et al.*, «Moringa Isothiocyanate Activates Nrf2: Potential Role in Diabetic Nephropathy», *AAPS J.*, 21(2) (2019), 31.
Chevalier, G. *et al.*, «Earthing: Health Implications of Reconnecting the Human Body to the Earth's Surface Electrons», *Journal of Environmental and Public Health*, 2012 (3) (2012), 291541.
Chiu, H. Y. *et al.*, «Effects of Intravenous and Oral Magnesium on Reducing Migraine: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials», *Pain Physician*, 19 (1) (2016), pp. e97-e112.
Choi, Y. *et al.*, «Effects of nocturnal light exposure on circadian rhythm and energy metabolism in healthy adults: A randomized crossover trial», *Chronobiol Int.*, 39 (4) (2022), pp. 602-612.
Christine M., Albert *et al.*, «Triggering of sudden death from cardiac causes by vigorous exertion», *N Engl J Med.*, 343 (19) (2000), pp. 1355-1361.
Clark, H. *et al.*, «A future for the world's children? A WHO-UNICEF-Lancet Commission», *Lancet*, 395 (10224) (2020), pp. 605-658.
Contrepois, K. *et al.*, «Molecular Choreography of Acute Exercise», *Cell*, 181(5) (2020), pp. 1112-1130.
Cortes-Canteli, M. *et al.*, «Subclinical Atherosclerosis and Brain Metabolism in Middle-Aged Individuals: The PESA Study», *J Am Coll Cardiol.*, 77 (7) (2021), pp. 888-898.
Dai, H. *et al.*, «Sirtuin activators and inhibitors: Promises, achievements, and challenges», *Pharmacol Ther.*, 188 (2018), pp. 140-154.
Davis, J. M. *et al.*, «Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance», *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, 296 (4) (2009), pp. r1071-r1077.
de Goede, P. *et al.*, «Circadian rhythms in mitochondrial respiration», *J Mol Endocrinol.*, 60 (3) (2018), pp. r115-r130.
de Oliveira, M. R. *et al.*, «Quercetin and the mitochondria: A mechanistic view», *Biotechnol Adv.*, 34 (5) (2016), pp. 532-549.
Degli Esposti, D. *et al.*, «Mitochondrial Roles and Cytoprotection in Chronic Liver Injury», *Biochemistry Research International*, 2012 (2012).
Deledda, A. *et al.*, «Mitochondrial Aging and Senolytic Natural Products with Protective Potential», *Int J Mol Sci.*, 23 (24) (2022), 16219.
DiNicolantonio, J. J.; O'Keefe, J. H.; y Wilson, W., «Subclinical magnesium deficiency: a principal driver of cardiovascular

disease and a public health crisis», *Open Heart*, 5 (1) (2018).

Doadrio Villarejo, Antonio Luis, «Importancia de los obesógenos en la adipogénesis y obesidad», *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, n.o extra 1 (2016), pp. 206-214.

Ekblom-Bak, E. *et al.*, «Isotemporal substitution of sedentary time by physical activity of different intensities and bout lengths, and its associations with metabolic risk», *Eur J Prev Cardiol.*, 23 (9) (2016), pp. 967-974.

Esalatmanesh, K., «Effects of melatonin supplementation on disease activity, oxidative stress, inflammatory, and metabolic parameters in patients with rheumatoid arthritis: a randomized double-blind placebo-controlled trial», *Clin Rheumatol.*, 40 (9) (2021), pp. 3591-3597.

Farr, C. V. *et al.*, «The Creatine Transporter Unfolded: A Knotty Premise in the Cerebral Creatine Deficiency Syndrome», *Front Synaptic Neurosci.*, 12 (2020).

Felker, P.; Bunch, R.; y Leung, A. M., «Concentrations of thiocyanate and goitrin in human plasma, their precursor concentrations in brassica vegetables, and associated potential risk for hypothyroidism», *Nutrition Reviews*, 74 (4) (2016), pp. 248-258.

Feng, Y. *et al.*, «Lactate dehydrogenase A: A key player in carcinogenesis and potential target in cancer therapy», *Cancer Med.*, 7 (2018), pp. 6124-6136.

Fila, M. *et al.*, «Nutrients to Improve Mitochondrial Function to Reduce Brain Energy Deficit and Oxidative Stress in Migraine», *Nutrients*, 13 (12) (2021).

Flori, L.; Testai, L.; y Calderone, V., «The “irisin system”: From biological roles to pharmacological and nutraceutical perspective», *Life Sci.*, 267 (2021).

Fornasier-Santos, Charly *et al.*, «Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players», *Eur J Sport Sci.*, 18 (4) (2018), pp. 504-512.

Frey Halling, J.; y Pilegaard, H., «PGC-1α-mediated regulation of mitochondrial function and physiological implications», *Applied Physiology Nutrition, and Metabolism*, 45 (9) (2020), pp. 927-936.

Gangwisch, J. E. *et al.*, «Inadequate sleep as a risk factor for obesity: analyses of the NHANES I», *Sleep*, 28 (10) (2005), pp. 1289-1296.

García-García, F. J. *et al.*, «Nutrition, Bioenergetics, and Metabolic Syndrome», *Nutrients*, 12 (9) (2020).

Garrett, A. R. *et al.*, «Measuring antioxidant capacity using the ORAC and TOSC assays», *Methods Mol Biol.*, 594 (2010), pp. 251-262.

Gebel, K. *et al.*, «Effect of moderate to vigorous physical activity on all-cause mortality in middle-aged and older Australians», *JAMA*

Internal Medicine, 175 (6) (2015), pp. 970-977.

Gillen, J. B. *et al.*, «Twelve Weeks of Sprint Interval Training Improves Indices of Cardiometabolic Health Similar to Traditional Endurance Training despite a Five-Fold Lower Exercise Volume and Time Commitment», *PLoS ONE*, 11 (4) (2016).

Gliszczyńska-Swigło, A. *et al.*, «Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing», *Food Additives and Contaminants*, 23 (11) (2006), pp. 1088-1098.

Gorman, G. *et al.*, «Mitochondrial diseases», *Nat Rev Dis Primers*, 2 (2016).

Gröber, U.; Schmidt, J.; y Kisters, K., «Magnesium in Prevention and Therapy», *Nutrients*, 7 (9) (2015), pp. 8199-8226.

Gu, C. *et al.*, «Metabolic Effects of Late Dinner in Healthy Volunteers-A Randomized Crossover Clinical Trial», *J Clin Endocrinol Metab.*, 105 (8) (2020), pp. 2789-2802.

Gunnarsson, T.; y Bangsbo, J., «The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners. Journal of applied physiology», *Journal of Applied Physiology*, 113 (1) (2012), pp. 16-24.

Guntur, V. P. *et al.*, «Signatures of Mitochondrial Dysfunction and Impaired Fatty Acid Metabolism in Plasma of Patients with Post-Acute Sequelae of COVID-19 (PASC)», *Metabolites*, 12 (2022).

Holland, H. D., «The oxygenation of the atmosphere and oceans», *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 361 (1470) (2006), pp. 903-915.

Hafen, P. S. *et al.*, «Repeated exposure to heat stress induces mitochondrial adaptation in human skeletal muscle», *J Appl Physiol.*, 125 (5) (2018), pp. 1447-1455.

Hanna-El-Daher, L.; y Braissant, O., «Creatine synthesis and exchanges between brain cells: What can be learned from human creatine deficiencies and various experimental models?», *Amino Acids.*, 48 (8) (2016), pp. 1877-1895.

Harris, Roger C. *et al.*, «The Carnosine Content of V Lateralis in Vegetarians and Omnivores», *The FASEB Journal*, 21(6) (2007), pp. a944-a944.

Hearris, M. A. *et al.*, «Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations», *Nutrients*, 10 (3) (2018), 298.

Heidari, R. *et al.*, «Mitochondria protection as a mechanism underlying the hepatoprotective effects of glycine in cholestatic mice», *Biomed Pharmacother.*, 97 (2018), pp. 1086-1095.

Henderson, K. N. *et al.*, «The Cardiometabolic Health Benefits of Sauna Exposure in Individuals with High-Stress Occupations. A

Mechanistic Review», *Int J Environ Res Public Health*, 18 (3) (2021), 1105.

Herbst, E. A. *et al.*, «Omega-3 supplementation alters mitochondrial membrane composition and respiration kinetics in human skeletal muscle», *J Physiol.*, 592 (6) (2014), pp. 1341-1352.

Hernández-Camacho *et al.*, «Coenzyme Q10 Supplementation in Aging and Disease», *Front Physiol.*, 9 (44) (2018).

Herr, Ingrid *et al.*, «Sulforaphane and related mustard oils in focus of cancer prevention and therapy», *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 163 (3-4) (2013), pp. 80-88.

Hill, C. A. *et al.*, «Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity», *Amino Acids*, 32 (2) (2007), pp. 225-233.

Hinrikus, H.; Bachmann, M.; y Lass, J., «Understanding Physical Mechanism of Low-Level Microwave Radiation Effect», *Int J Radiat Biol.*, 94 (2018), pp. 877-882.

Ho, C. L. *et al.*, «Quercetin Increases Mitochondrial Biogenesis and Reduces Free Radicals in Neuronal SH-SY5Y Cells», *Nutrients*, 14 (16) (2022), 3310.

Hobson, R. M. *et al.*, «Effects of β-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis», *Amino Acids*, 43 (1) (2012), pp. 25-37.

Holt-Lunstad, J. *et al.*, «Loneliness and Social Isolation as Risk Factors for Mortality: A Meta-Analytic Review», *Perspectives on Psychological Science*, 10 (2) (2015), pp. 227-237.

Horvath, C.; y Wolfrum, C., «Feeding brown fat: dietary phytochemicals targeting non-shivering thermogenesis to control body weight», *Proc Nutr Soc.*, 79 (3) (2020), pp. 338-356.

Howard J. M., «"Mitochondrial Eve", "Y Chromosome Adam", testosterone, and human evolution», *Riv Biol.*, 95 (2) (2002), pp. 319-325.

Hu, Xiangwei *et al.* «Intermittent fasting modulates the intestinal microbiota and improves obesity and host energy metabolism», *npj Biofilms Microbiomes*, 9 (19) (2023).

Huertas, J. R. *et al.*, «Stay Fit, Stay Young: Mitochondria in Movement: The Role of Exercise in the New Mitochondrial Paradigm», *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019.

Huh, Joo Young, «The role of exercise-induced myokines in regulating metabolism», *Arch. Pharm. Res.*, 41 (2018), pp.14-29.

Hui, S. *et al.*, «Glucose feeds the TCA cycle via circulating lactate», *Nature*, 551(7678) (2017), pp. 115-118.

Hupin, D. *et al.*, «Even a low-dose of moderate-to-vigorous physical activity reduces mortality by 22 % in adults aged ≥60 years: A systematic review and meta-analysis», *British Journal of Sports*

Medicine, 49(19) (2015), pp. 1262-1267.
Hursel, R.; y Westerterp-Plantenga, M. S., «Thermogenic ingredients and body weight regulation», *International Journal of Obesity*, 34(4) (2010), pp. 659-669.
Iwayama, K. *et al.*, «Exercise before breakfast increases 24-h fat oxidation in female subjects», *PLoS ONE*, 12(7) (2017).
Janson, J. *et al.*, «Increased Risk of Type 2 Diabetes in Alzheimer Disease», *Diabetes*, 53 (2) (2004), pp, 474-481.
Jenkins, E. M. *et al.*, «Do stair climbing exercise “snacks” improve cardiorespiratory fitness?», *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(6) (2019), pp. 681-684.
Jesus, A. *et al.*, «UV Filters: Challenges and Prospects», *Pharmaceuticals* (Basel), 15 (3) (2022), p. 263.
Jiang, Y. *et al.*, «Cruciferous Vegetable Intake Is Inversely Correlated with Circulating Levels of Proinflammatory Markers in Women», *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114 (5) (2014), pp. 700-708.
Kahle, L. E. *et al.*, «Acute sodium bicarbonate loading has negligible effects on resting and exercise blood pressure but causes gastrointestinal distress», *Nutr Res.*, 33 (6) (2013), pp. 479-486.
Kaikaew, K.; Grefhorst, A.; y Visser, J. A., «Sex Differences in Brown Adipose Tissue Function: Sex Hormones, Glucocorticoids, and Their Crosstalk», *Front. Endocrinol.*, 12 (2021).
Kaplan, P. *et al.*, «Homocysteine and Mitochondria in Cardiovascular and Cerebrovascular Systems», *Int J Mol Sci.*, 21 (20) (2020).
Kelly, A. L. *et al.*, «The impact of caloric availability on eating behavior and ultra-processed food reward», *Appetite*, 178 (2022).
Kelly, D. P.; y Scarpulla, RC., «Transcriptional regulatory circuits controlling mitochondrial biogenesis and function», *Genes Dev.*, 18 (4) (2004), pp. 357-368.
Kelly, D. P., «Irisin, Light my fire», *Science*, 336 (2012), pp. 42-43.
Killilea, DW.; y Killilea, A. N., «Mineral requirements for mitochondrial function: A connection to redox balance and cellular differentiation», *Free Radic Biol Med.*, 182 (2022), pp. 182-191.
Kim, J. *et al.*, «Causes of hyperhomocysteinemia and its pathological significance», *Arch Pharm Res.*, 41 (4) (2018), pp. 372-383.
Kirby, A. W. *et al.*, «Melatonin and the reduction or alleviation of stress», *J Pineal Res.*, 27 (2) (1999), pp. 78-85.
Kobayashi, S. *et al.*, «Acetyl-L-carnitine improves aged brain function», *Geriatr Gerontol Int.*, 10 (Suppl 1) (2010), pp. S99-S106.
Koh, J.-H.; y Kim, J.-Y., «Role of PGC-1α in the Mitochondrial NAD+ Pool in Metabolic Diseases», *Int J Mol Sci.*, 22 (2021).
Kolb, H. *et al.*, «Ketone bodies: from enemy to friend and guardian

angel», *BMC Med.*, 19 (1) (2021), 313.

Koltermann, A. *et al.*, «Ginkgo biloba extract EGb 761 increases endothelial nitric oxide production in vitro and in vivo», *Cell Mol Life Sci.*, 64 (13) (2007), pp. 1715-1722.

Kulterer, O. C. *et al.*, «The Presence of Active Brown Adipose Tissue Determines Cold-Induced Energy Expenditure and Oxylipin Profiles in Humans», *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 105 (7) (2020), pp. 2203-2216.

Kumar, P. *et al.*, «Supplementing Glycine and N-Acetylcysteine (GlyNAC) in Older Adults Improves Glutathione Deficiency, Oxidative Stress, Mitochondrial Dysfunction, Inflammation, Physical Function, and Aging Hallmarks: A Randomized Clinical Trial», *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 78 (1) (2023), pp. 75-89.

LaForgia, J.; Withers, R. T.; y Gore, C. J., «Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption», *J Sports Sci.*, 24 (12) (2006), pp. 1247-1264.

Lane, N.; y Martin, W., «The energetics of genome complexity», *Nature*, 467 (2010), pp. 929-934.

Lars, Ernster; y Schalz, Gottfried, «Mitochondria: A Historical Review», *The Journal of Cell Biology*, 91 (3 Pt 2) (1981), pp. 227s-229s.

Lawless, C. *et al.*, «The rise and rise of mitochondrial DNA mutations», *Open Biol.*, 10 (5) (2020).

Li, A. W.; y Goldsmith, C. A., «The effects of yoga on anxiety and stress», *Altern Med Rev.*, 17 (1) (2012), pp. 21-35.

Li, Yu *et al.*, «Local hyperthermia therapy induces browning of white fat and treats obesity», *Cell*, 185 (6) (2022), pp. 949-966.

Liang, H.; y Ward, W. F., «PGC-1alpha: a key regulator of energy metabolism», *Adv Physiol Educ.*, 30 (4) (2006), pp. 145-151.

Lin, J. *et al.*, «Transcriptional co-activator PGC-1 alpha drives the formation of slow-twitch muscle fibres», *Nature*, 418 (6899) (2002), pp. 797-801.

Lin Y.; Wang, Y., y Li, P. F., «Mutual regulation of lactate dehydrogenase and redox robustness», *Front. Physiol.*, 13 (2022).

Litleskare, S. *et al.*, «Sprint Interval Running and Continuous Running Produce Training Specific Adaptations, Despite a Similar Improvement of Aerobic Endurance Capacity-A Randomized Trial of Healthy Adults», *Int J Environ Res Public Health.*, 17 (11) (2020), 3865.

Loh, D.; y Reiter, R. J., «Light, Water, and Melatonin: The Synergistic Regulation of Phase Separation in Dementia», *Int J Mol Sci.*, 24 (2023), 5835.

López-Lluch, G. *et al.*, «Mitochondrial biogenesis and healthy aging», *Exp Gerontol.*, 43 (9) (2008), pp. 813-819.

López-Otín, C.; y Kroemer, G., «Hallmarks of Health», *Cell*, 184 (1)

(2021), pp. 33-63.

Loussouarn, C. *et al.*, «Mesenchymal Stromal Cell-Derived Extracellular Vesicles Regulate the Mitochondrial Metabolism via Transfer of miRNA», *Front Immunol.*, 12 (2021).

Lu, X. *et al.*, «Sulforaphane and its antioxidative effects in broccoli seeds and sprouts of different cultivars», *Food Chem.*, 316 (2020).

Machado, S. A. *et al.*, «Browning of the white adipose tissue regulation: new insights into nutritional and metabolic relevance in health and diseases», *Nutr Metab (Lond)*, 19, 61 (2022).

MacInnis, M. J.; y Gibala, M. J., «Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity», *J Physiol.*, 595 (9) (2017), pp. 2915-2930.

Mahoney, D. E., *et al.*, «Understanding D-Ribose and Mitochondrial Function», *Adv Biosci Clin Med.*, 6 (1) (2018), pp. 1-5.

Marchi, S. *et al.*, «Mitochondrial control of inflammation», *Nat Rev Immunol.*, 23 (3) (2023), pp. 159-173.

Marins, J.; y Delgado-Fernández, M., «Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardiaca máxima en carrera para jóvenes deportistas», *Archivos de Medicina del Deporte* (revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte), 118 (2007), pp. 112-120.

Marques, E. P. *et al.*, «Crosstalk between guanidinoacetate neurotoxicity, memory and possible neuroprotective role of creatine», *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.*, 1865 (11) (2019).

Marshall, R. P. *et al.* «Role of Creatine Supplementation in Conditions Involving Mitochondrial Dysfunction: A Narrative Review», *Nutrients*, 14 (3) (2022).

Martínez, J. *et al.*, «Mitochondrial Bioenergetics and Dynamics in Secretion Processes», *Front. Endocrinol.* 11 (2020), 319.

Massudi, H. *et al.*, «Age-Associated Changes In Oxidative Stress and NAD+ Metabolism In Human Tissue», *PLoS ONE*, 7 (7) (2012).

Maughan, R. J. *et al.*, «IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete», *Br J Sports Med.*, 52 (2018), pp. 439-455.

McCarty, M. F.; O'Keefe, J. H.; y DiNicolantonio, J. J., «Dietary Glycine Is Rate-Limiting for Glutathione Synthesis and May Have Broad Potential for Health Protection», *Ochsner J.*, 18(1) (2018), pp. 81-87.

Michl, C. *et al.*, «Chemopreventive Phytochemical Moringin Isolated from Moringa oleifera Seeds Inhibits JAK/STAT Signaling», *PLoS One*, 11 (6) (2016).

Miller, W. L., «Steroid hormone synthesis in mitochondria», *Mol Cell Endocrinol.*, 379 (1-2) (2013), pp. 62-73.

Mishra, P.; y Chan DC., «Metabolic regulation of mitochondrial dynamics», *J Cell Biol.*, 212, (2016), pp. 379-387.

Muoio, D. M., «Metabolic inflexibility: when mitochondrial indecision leads to metabolic gridlock», *Cell*, 159 (6) (2014), pp. 1253-1262.

Navarrete-Opazo, A.; y Mitchell, G. S., «Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose», *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 307 (10) (2014), pp. R1181-R1197.

Nedeltcheva, A. V. *et al.*, «Insufficient sleep undermines dietary efforts to reduce adiposity», *Ann Intern Med.*, 153 (7) (2010), pp. 435-441.

Pall, M. L., «Wi-Fi is an important threat to human health», *Environ Res.*, 164 (2018), pp. 405-416.

Pandey, K. B.; y Rizvi, S. I., «Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease», *Oxid Med Cell Longev.*, noviembre-diciembre de 2009; 2 (5) (2009), pp. 270-278.

Parikh, Roma *et al.*, «Skin exposure to UVB light induces a skin-brain-gonad axis and sexual behavior», *Cell Reports*, 36 (8) (2021).

Park, T. H.; Lee, HJ.; y Lee, J. B., «Effect of Heat Stimulation on Circulating Irisin in Humans», *Front Physiol.*, 12 (2021).

Pascoe, M. C. *et al.*, «Mindfulness mediates the physiological markers of stress: Systematic review and meta-analysis», *J Psychiatr Res.*, 95 (2017), pp. 156-178.

Patrick, R. P.; y Johnson, T. L., «Sauna use as a lifestyle practice to extend healthspan», *Exp Gerontol.*, 154 (2021).

Pedersen, Bente Klarlund, «Muscles and their myokines», *Journal of Experimental Biology*, 214 (2011), pp. 337-346.

Peters, Achim, «The Selfish Brain: Competition for Energy Resources», *American Journal of Human Biology*, 23 (2011), pp. 29-34.

Picard, M.; y McEwen, B. S., «Psychological Stress and Mitochondria: A Systematic Review», *Psychosom Med.*, 80 (2) (2018), pp. 141-153.

Picard, M. *et al.*, «A Mitochondrial Health Index Sensitive to Mood and Caregiving Stress», *Biological Psychiatry*, 84 (1) (2018), pp. 9-17.

Pieczenik, S. R.; y Neustadt, J., «Mitochondrial dysfunction and molecular pathways of disease», *Exp Mol Pathol.*, 83 (1) (2007), pp. 84-92.

Priya, G.; y Kalra, S., «Mind-Body Interactions and Mindfulness Meditation in Diabetes», *Eur Endocrinol.*, 14 (1) (2018), pp. 35-41.

Prlić, I. *et al.*, «Wi-Fi technology and human health impact: a brief review of current knowledge», *Arh Hig Rada Toksikol*, 73 (2) (2022), pp. 94-106.

Pruimboom, L., «The multiple faces of the human immune system: Modern life causes low-grade inflammation and thereby provokes conflict between the selfish immune system and the selfish brain»,

Rijksuniversiteit Groningen, tesis doctoral (2017).

Purushothuman, S. *et al.*, «The impact of near-infrared light on dopaminergic cell survival in a transgenic mouse model of parkinsonism», *Brain Res.*, 1535 (2013), pp. 61-70.

Raule, N. *et al.*, «The co-occurrence of mtDNA mutations on different oxidative phosphorylation subunits, not detected by haplogroup analysis, affects human longevity and is population specific», *Aging Cell*, 13 (2014), pp. 401-407.

Reid, D. M. *et al.*, «Mitochondrial DNA oxidative mutations are elevated in Mexican American women potentially implicating Alzheimer's disease», *npj Aging*, 8, 2 (2022).

Remer, T.; y Manz, F., «Potential renal acid load of foods and its influence on urine pH», *J Am Diet Assoc.*, 95 (7) (1995), pp. 791-797.

Ribas, V.; García-Ruiz, C.; y Fernández-Checa, J. C., «Glutathione and mitochondria», *Frontiers in Pharmacology*, 5, 151 (2014).

Rosique-Esteban, N. *et al.*, «Dietary Magnesium and Cardiovascular Disease: A Review with Emphasis in Epidemiological Studies», *Nutrients*, 10 (2) (2018), 168.

Russell, I. J. *et al.*, «Treatment of fibromyalgia syndrome with Super Malic®: A randomized, double blind, placebo controlled, crossover pilot study», *The Journal of Rheumatology*, 22 (1995), pp. 953-958.

Rybnikova, E. A. *et al.*, «Intermittent Hypoxic Training as an Effective Tool for Increasing the Adaptive Potential, Endurance and Working Capacity of the Brain», *Frontiers in Neuroscience*, 16 (2022).

Salles, J. *et al.*, «Vitamin D status modulates mitochondrial oxidative capacities in skeletal muscle: role in sarcopenia», *Commun Biol*, 5 (1) (2022).

Santini, S. J. *et al.*, «Corrigendum to "Role of Mitochondria in the Oxidative Stress Induced by Electromagnetic Fields: Focus on Reproductive Systems"», *Oxid Med Cell Longev.*, 2020 (2020).

Sawicka-Gutaj, N. *et al.*, «The Role of Thyroid Hormones on Skeletal Muscle Thermogenesis», *Metabolites*, 12 (4) (2022).

Schnyder, S.; y Handschin, C., «Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1α, myokines and exercise», *Bone*, 80 (2015), pp. 115-125.

Schultz, M. B.; y Sinclair, D. A., «Why NAD(+) Declines during Aging: It's Destroyed», *Cell Metab.*, 23 (6) (2016), pp. 965-966.

Schwalfenberg, G. K.; y Genuis, S. J., «The Importance of Magnesium in Clinical Healthcare», *Scientifica*, 2017 (2017).

Sciamanna, C. N. *et al.*, «Feasibility and impact of a 1-minute daily functional exercise regimen prescribed to older adults by their primary care physician», *Prev Med Rep.*, 21 (2021).

Seifert, J. G.; Brumet, A.; y St Cyr, J. A., «The influence of D-ribose ingestion and fitness level on performance and recovery», *J Int Soc Sports Nutr.*, 14 (2017).

Setaro, L. *et al.*, «Magnesium status and the physical performance of volleyball players: effects of magnesium supplementation», *J Sports Sci.*, 32 (5) (2014), pp. 438-445.

Sharma, A. *et al.*, «Effect of Health-Promoting Agents on Exclusion-Zone Size», *Dose-Response*, 16 (3) (2018).

Sharma, A.; y Pollack, G. H., «Healthy fats and exclusion-zone size», *Food Chem.*, 316 (2020).

Sharma, S. P. *et al.*, «Paradoxical Effects of Fruit on Obesity», *Nutrients*, 8 (10) (2016), 633.

Shecterle, L. M.; Terry, K. R.; y St Cyr, J. A., «Potential Clinical Benefits of D-ribose in Ischemic Cardiovascular Disease», *Cureus*, 10 (3) (2018).

Shephard, R. J., «Metabolic adaptations to exercise in the cold. An update», *Sports Med.*, 16 (4) (1993), pp. 266-289.

Shepherd, S. O. *et al.*, «Low-Volume High-Intensity Interval Training in a Gym Setting Improves Cardio-Metabolic and Psychological Health», *PLoS ONE,* 10 (9) (2015).

Shimizu, S. *et al.*, «Sulforaphane Increase Mitochondrial Biogenesis-Related Gene Expression in the Hippocampus and Suppresses Age-Related Cognitive Decline in Mice», *Int. J. Mol. Sci.*, 23 (15) (2022).

Shinhmar, H. *et al.*, «Weeklong improved colour contrasts sensitivity after single 670 nm exposures associated with enhanced mitochondrial function», *Sci Rep.*, 11 (2021).

Siebrecht, S., «Magnesium Bisglycinate as safe form for mineral supplementation in human nutrition», *OM & Ernährung,* 144 (2013).

Silvester, A. J.; Aseer, K. R.; y Yun, J. W., «Dietary polyphenols and their roles in fat browning», *J Nutr Biochem.*, 64 (2019), pp. 1-12.

Smith, A. E. *et al.*, «Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial», *J Int Soc Sports Nutr.*, 6 (5) (2009).

Smith, R. L. *et al.*, «Metabolic flexibility as an adaptation to energy resources and requirements in health and disease», *Endocr Rev.*, 39 (4) (2018), pp. 489-517.

Smith, R. N.; Agharkar, A. S.; y Gonzales, E. B., «A review of creatine supplementation in age-related diseases: more than a supplement for athletes», *F1000Res.*, 3 (2014).

Søberg, S. *et al.*, «Altered brown fat thermoregulation and enhanced cold-induced thermogenesis in young, healthy, winterswimming

men», *Cell Rep Med.*, 2 (10) (2021).

Sokary, S. *et al.*, «The therapeutic potential of matcha tea: A critical review on human and animal studies», *Curr Res Food Sci.*, 6 (2023).

Sommer, A. P. *et al.*, «670 Nm Laser Light and EGCG Complementarily Reduce Amyloid-β Aggregates in Human Neuroblastoma Cells: Basis for Treatment of Alzheimer's Disease?», *Photomed Laser Surg.*, 30 (1) (2012), pp. 54-60.

Sommer, A. P., «Mitochondrial cytochrome c oxidase is not the primary acceptor for near infrared light-it is mitochondrial bound water: the principles of low-level light therapy», *Ann Transl Med.*, 7 (2019).

—«Mitochondrial solar sensitivity: evolutionary and biomedical implications», *Ann Transl Med.*, 8(5) (2020).

Sorriento, D.; Di Vaia, E.; y Iaccarino, G., «Physical Exercise: A Novel Tool to Protect Mitochondrial Health», *Front Physiol.*, 12 (2021).

Spinelli, J. B.; y Haigis, M. C., «The multifaceted contributions of mitochondria to cellular metabolism», *Nat Cell Biol.*, 20 (7) (2018), pp. 745-754.

Stegen, S. *et al.*, «Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading», *Med Sci Sports Exerc.*, 45 (8) (2013), pp. 1478-1485.

Straub, R. H. *et al.*, «Energy regulation and neuroendocrine-immune control in chronic inflammatory diseases (Review)», *J Intern Med.*, 267 (6) (2010), pp. 543-560.

Straub, Rainer H., «Interaction of the endocrine system with inflammation: a function of energy and volume regulation», *Arthritis Research & Therapy*, 16 (1) (2014), 203.

Straub, Rainer H.; y Schradin, Carsten, «Chronic inflammatory systemic diseases. An evolutionary trade-off between acutely beneficial but chronically harmful programs», *Evolution, Medicine, and Public Health*, 2016 (1) (2016), pp. 37-51.

Tafaletti, J. G., «Blood lactate: biochemistry, laboratory methods and clinical interpretation», *CRC Crit Rev Clin Lab Sci.*, 28 (4) (1991), pp. 253-268.

Talanian, J. L. *et al.*, «Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women», *J Appl Physiol.*, 102 (4) (2007), pp. 1439-1447.

Tan, D. X. *et al.*, «Melatonin: Both a Messenger of Darkness and a Participant in the Cellular Actions of Non-Visible Solar Radiation of Near Infrared Light», *Biology* (Basel), 12 (2023), 89.

Tatoń, G., «The Influence of Electromagnetic Wave Originating from WiFi Router on Water Viscosity», *Prz. Elektrotech.*, 1 (2018), pp. 278-280.

Teitelbaum, J. E.; Johnson, C.; y St Cyr, J. A., «The use of D-ribose in chronic fatigue syndrome and fibromyalgia: a pilot study», *J Altern Complement Med.*, 12 (9) (2006), pp. 857-862.

Teker, H. T.; y Ceylani, T., «Intermittent fasting supports the balance of the gut microbiota composition», *International Microbiology*, 26 (1) (2022), pp. 51-57.

Thoma, M. V. *et al.*, «The effect of music on the human stress response», *PLoS One*, 8(8) (2013).

Thompson, J. *et al.*, «Evaluation of D-ribose pharmacokinetics, dose proportionality, food effect, and pharmacodynamics after oral solution administration in healthy male and female subjects», *The Journal of Clinical Pharmacology*, 54 (5) (2014), pp. 546-554.

Townsend, R. J. *et al.*, «Excess post-exercise oxygen consumption (epoc) following multiple effort sprint and moderate aerobic exercise», *Kinesiology*, 45 (1) (2013), pp. 16-21.

Tran, N. T. *et al.*, «Impacts of Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) on Lettuce (*Lactuca sativa*)-Evidence for RF-EMF Interference with Plant Stress Responses», *Plants* (Basel), 12 (5) (2023) Trincat, L.; Woorons, X.; y Millet, G. P., «Repeated-Sprint Training in Hypoxia Induced by Voluntary Hypoventilation in Swimming», *Int J Sports Physiol Perform.*, 12 (3) (2017), pp. 329-335.

Tsuchiya, Y. *et al.*, «High-intensity exercise causes greater irisin response compared with low-intensity exercise under similar energy consumption», *Tohoku J Exp Med.*, 233 (2) (2014), pp. 135-140.

Tu, T. *et al.*, «Irisin Contributes to Neuroprotection by Promoting Mitochondrial Biogenesis After Experimental Subarachnoid Hemorrhage», *Front Aging Neurosci.*, 13 (2021).

Tucker, L. A.; y Thomas, K. S., «Increasing total fiber intake reduces risk of weight and fat gains in women», *J Nutr.*, 139 (3) (2009), pp. 576-581.

Ventura-Clapier, R.; Garnier, A.; y Veksler, V., «Transcriptional control of mitochondrial biogenesis: The Central Role of PGC-1alpha», *Cardiovascular Research*, 79 (2) (2008), pp. 208-217.

Verkerk, Ruud, «Glucosinolates in Brassica vegetables: The influence of the food supply chain on intake, bioavailability and human health», *Mol Nutr Food Res.*, 53 (52) (2009), pp. s219-s265.

Vuda, M.; y Kamath, A., «Drug induced mitochondrial dysfunction: Mechanisms and adverse clinical consequences», *Mitochondrion.*, 31 (2016), pp. 63-74.

Vujović, N. *et al.*, «Late isocaloric eating increases hunger, decreases energy expenditure, and modifies metabolic pathways in adults with overweight and obesity», *Cell Metab.*, 34 (10) (2022), pp.

1486-1498.
Wahl, P. *et al.*, «Acute metabolic, hormonal, and psychological responses to different endurance training protocols», *Horm Metab Res.*, 45 (11) (2013), pp. 827-833.
Wang, Y. *et al.*, «Medium Chain Triglycerides enhances exercise endurance through the increased mitochondrial biogenesis and metabolism», *PLoS One*, 13 (2) (2018).
Warburg, O. H., «The classic: The chemical constitution of respiration ferment», *Clin Orthop Relat Res.*, 468 (11) (2010), pp. 2833-2839.
Weinrich, T. W. *et al.*, «A day in the life of mitochondria reveals shifting workloads», *Sci Rep.*, 9 (1) (2019).
Will, Y.; Shields, J. E.; y Wallace, K. B., «Drug-Induced Mitochondrial Toxicity in the Geriatric Population: Challenges and Future Directions», *Biology*, 8 (2) (2019), p. 32.
Williams, P. T., «Relationship of running intensity to hypertension, hypercholesterolemia, and diabetes», *Med Sci Sports Exerc.*, 40 (10) (2008), pp. 1740-1748.
Wilson, M. C. *et al.*, «Lactic acid efflux from white skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3», *J Biol Chem.*, 273 (26) (1998), pp. 15920-15926.
Yamada, A. K. *et al.*, «Effect of caffeine on mitochondrial biogenesis in the skeletal muscle—A narrative review», *Clin Nutr ESPEN.*, 2022; 51 (2022), pp. 1-6.
Yamamoto, H.; Schoonjans, K.; y Auwerx, J., «Sirtuin functions in health and disease», *Mol Endocrinol.*, 21 (8) (2007), pp. 1745-1755.
Yamanaka, R. *et al.*, «Mitochondrial Mg(2+) homeostasis decides cellular energy metabolism and vulnerability to stress», *Sci Rep.*, 6 (2016).
Young, I. E. *et al.*, «Distribution of energy intake across the day and weight loss: A systematic review and meta-analysis», *Obes Rev.*, 24 (3) (2023).
Zhang, X. *et al.*, «Cruciferous vegetable consumption is associated with a reduced risk of total and cardiovascular disease mortality», *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94(1) (2011), pp. 240-246.
Zheng, W. *et al.*, «Biological mechanisms and clinical efficacy of sulforaphane for mental disorders», *General Psychiatry*, 35 (2) (2022).
Zhou L. *et al.*, «Effects of vaginal microbiota transfer on the neurodevelopment and microbiome of cesarean-born infants: A blinded randomized controlled trial», *Cell Host & Microbe*, 31(7) (2023), pp.1232-1247.
Zimmer, Carl, «The Mistery of Earth's Oxygen», *The New York Times*, 3 de octubre de 2013, <https://www.nytimes.com/2013/10/03/

science/earths-oxygen-a-mystery-easy-to-take-for-granted.html>.

Notas

1. Según el informe «A Future for the World's Children?», elaborado por una comisión convocada por la revista *The Lancet*, la OMS y UNICEF.

2. Arponen, Sari, *El sistema inmunitario por fin sale del armario*, Alienta, Barcelona, 2022.

3. Nadal, Toni, *Todo se puede entrenar*, Alienta, Barcelona, 2015.

4. Grau, Ari, *Dieta keto*, Amat Editorial, Barcelona, 2023.

5. Inchauspé, Jessie, *La revolución de la glucosa*, Diana, Barcelona, 2022.

6. Arponen, Sari, *En la cocina con la doctora Arponen*, Alienta, Barcelona, 2023.

7. Taleb, Nassim, *Antifrágil*, Paidós, Barcelona, 2013.

8. Convertir las actividades diarias en un juego es genial, pero también lo es **jugar**. Con los niños de tu familia o de tu círculo social, con tu mascota y, por supuesto, con amigos o simplemente desconocidos que quieran pasar un rato jugando al fútbol, baloncesto o cualquier cosa que se te ocurra. Cuanto menos asocies tu ocio al consumo de alimentos o bebidas y más al movimiento, mucho mejor para tu salud.

9. Yogananda, Paramahansa, *Autobiografía de un yogui*, Vergara, Barcelona, 2022.

10. Pollack, Gerald, *The Fourth Phase of Water*, Ebner and Sons Publisher, Estados Unidos, 2013.

11. Bascuñana, María Hernández, *Vitaminados*, Alienta, Barcelona, 2022.

12. Extracto de Jaime Rodríguez de Santiago, *Kaizen* [pódcast], 2019-actualidad, Spotify.

13. La espermidina es una molécula que en los últimos tiempos está ganando una gran fama entre la comunidad científica por sus propiedades a la hora de extender la vida útil (sin patologías) en estudios con animales. Los alimentos más ricos en espermidina son las semillas germinadas.

14. Arponen, Sari, *¡Es la microbiota, idiota!*, Alienta, Barcelona, 2021.

15. Søberg, Susanna, *Baños en aguas frías: El secreto escandinavo para llevar una vida más feliz y saludable*, Alienta, Barcelona, 2022.

16. Coll, Núria, *Soy como como*, Grijalbo, Barcelona, 2023.

17. Arponen, Sari, *op. cit.*

18. Romera, Marc, *El manual de la cronobiología y los ritmos circadianos*, Bubok Publishing, Madrid, 2022.

19. Albares, Javier, *La ciencia del buen dormir*, Península, Barcelona, 2023.

Activa tus mitocondrias
Antonio Valenzuela

Alienta es un sello editorial de Centro de Libros PAPF, SLU.
Av. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona

www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): noviembre de 2023

ISBN: 978-84-1344-290-7 (epub)

Conversión a libro electrónico: Acatia www.acatia.es

Pack Aprendiendo de los mejores 2020

Alcaide Hernández, Francisco
9788413442914
1264 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

UN ESTUCHE ÚNICO CON LOS LIBROS QUE HAN INSPIRADO A MÁS DE 100.000 PERSONAS

Aprendiendo de los mejores es el **libro más vendido de management** de un autor español de los últimos años y está en el **TOP 25 internacional de los mejores libros de empresa y desarrollo personal**.
Se ha convertido en el libro de cabecera de muchas personas por su capacidad de sintetizar y explicar una ingente cantidad de conocimiento, experiencia y sabiduría sobre el mundo del **desarrollo personal, los negocios, el liderazgo, la libertad financiera o la espiritualidad**.
La filosofía de *Aprendiendo de los mejores* se resume en una frase: *tu desarrollo personal es tu destino*; esto es, en quien te conviertes se acaba reflejando en lo que obtienes. Por eso, **no hay mejor inversión que la que se hace en uno mismo**. ¿Y cuál es la mejor forma de hacerlo? Aprendiendo de los mejores, de aquellas personas que han llegado donde tú también quieres llegar.
Por primera vez juntos los volúmenes 1, 2 y 3 de *Aprendiendo de los mejores*, en los que encontrarás **más de mil reflexiones y consejos cuidadosamente seleccionados de un centenar de reconocidas personalidades**, analizadas con profundidad y rigor para darles sentido y coherencia.

Cómpralo y empieza a leer

KOBE
BRYANT

MENTALIDAD MAMBA

LOS SECRETOS
DE MI ÉXITO

PRÓLOGO DE PAU GASOL

INTRODUCCIÓN DE PHIL JACKSON

FOTOGRAFÍAS DE ANDREW D. BERNSTEIN

Mentalidad mamba

Bryant, Kobe
9788417568900
208 Páginas

«Kobe sabía que para ser el mejor necesitas un enfoque diferente al de todos los demás... Disfruta de este magnífico libro. No tengo ninguna duda de que te sentirás inspirado.» **Pau Gasol**

«Advertencia: prepárate para una nueva aventura dentro del baloncesto de más alto nivel... Este libro es una ventana a la mente de Kobe Bryant.» **Phil Jackson**

Mentalidad mamba invita a sus lectores a conocer el modo de pensar y de proceder que convirtió a **Kobe Bryant** en uno de los **mejores jugadores de baloncesto de la historia**. Bryant nos **detalla su amplio conocimiento** sobre este deporte; nos revela de quién aprendió, **cómo aguantaba el dolor cuando se lesionaba** y no podía abandonar a sus compañeros y por qué se negó a aceptar que la derrota fuese una opción. Comparte su motivación para no dejar de aprender nunca y para conseguir mejorar cada día.

Página a página, partido a partido, **Bryant analiza emparejamientos específicos de su carrera, desde Michael Jordan a Lebron James**. Todo esto **acompañado por las asombrosas fotografías** de Andrew D. Bernstein, quien capturó la primera foto de Bryant como un Laker en 1996 y su última foto en 2016.

Cómpralo y empieza a leer

Dra. Sari Arponen

¡ES LA MICROBIOTA, IDIOTA!

Descubre cómo tu salud depende de los billones de microorganismos que habitan en tu cuerpo

Prólogo de MAGO MORE

allenta
EDITORIAL

¡Es la microbiota, idiota!

Arponen, Sari
9788413440781
368 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

«La Dra. Sari Arponen plasma sus conocimientosen este libro de forma impresionante para que puedas empezar a cuidarte desde hoy.» **Dra. Marian Rojas Estapé**, autora de *Cómo hacer que te pasen cosas buenas*

«El mundo de la microbiota es fascinante y pocas personas lo conocen en más detalle que la Dra. Sari Arponen.» **Marcos Vázquez**, creador de Fitness Revolucionario

«Un libro superventas que ha cambiado nuestra forma de ver nuestra salud desde la alimentación y los bueno hábitos.» ***Sportlife***

¿Te sientes cansado, de mal humor, irritado o estresado? ¡Ponle fin!

Dolores de cabeza, hinchazón después de comer, alergias, dermatitis atópica, esos kilos de más de los que es imposible deshacerse... Quizás te suenen algunos de estos problemas, pero **¿sabías que todos ellos pueden estar relacionados con un desequilibrio de la microbiota?**

Los descubrimientos sobre la microbiota constituyen una de las mayores revoluciones de la historia de la ciencia y la medicina. Los **microorganismos** están en todas partes: desde el ojo de un huracán hasta la pantalla del móvil. Son los **responsables de cómo nos sienta la comida**, cómo luce nuestra piel e incluso cómo funciona nuestra memoria.

Después de ver a muchos pacientes desesperados por problemas que no sabían cómo resolver y cuya causa desconocían, la doctora Arponen comenzó a indagar en uno de los aspectos que menos se ha tenido en cuenta en la salud humana. Desde entonces, ha dedicado su carrera al estudio de la microbiota y su impacto en el cuerpo humano.

Ahora, en este libro, comparte todos sus hallazgos en este campo con un lenguaje sencillo, de forma que cualquiera, relacionado o no con el mundo de la salud, pueda entenderlos. En estas páginas, no sólo **descubriremos qué es la microbiota**. También aprenderemos cómo podemos sentar las bases para equilibrarla y qué **hábitos podemos incorporar en nuestro día a día** para alcanzar un mayor nivel de bienestar.

Y es que la salud es un camino que debemos recorrer a lo largo de toda nuestra vida, ¿por qué no dar ya el primer paso?

MIRA.

PUBLIQUÉ UN LIBRO EN 2022.
VENDÍ MILES Y MILES DE COPIAS
(Y SE SIGUEN VENDIENDO).
LO TITULÉ:
ESCRIBO PORQUE ME GUSTA GANAR DINERO.
Y ES VERDAD.
ESCRIBO PORQUE ME GUSTA GANAR DINERO.

PERO EN REALIDAD...

ESCRIBO PARA FOLLAR.

EL LIBRO DE COPYWRITING DE ISRA BRAVO

P.D.: **ESTE LIBRO ES SOBRE ESCRITURA PERSUASIVA. TE SERVIRÁ PARA GENERAR NEGOCIOS, VENTAS, ATRACCIÓN, CARISMA, CONTACTOS Y DINERO**.
SI TE ASUSTAS FÁCILMENTE, COMPRA UN LIBRO DE AUTOAYUDA Y ACABAS ANTES.



El libro de copywriting

Bravo, Isra
9788413442488
192 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

Isra Bravo, autor de *Escribo porque me gusta ganar dinero,* te descubre el poder del copywriting y cómo usarlo para ganar dinero.

Sé todo lo egoísta que puedas y deja hablar a los demás.

Esto es lo que verás dentro de este libro:

- Cómo vender cualquier cosa escribiendo (incluido a ti) gracias a un enano, un borracho y un bastardo.
- Un motivo (sigiloso y contraintuitivo) para evolucionar hacia detrás y no hacía delante… que hará que ganes muchos más clientes que tu competencia.
- Una forma de resultar atractivo, personal y profesionalmente, aunque seas más tímido que un cervatillo o más feo que un cactus. O peor aún, las dos cosas.
- Lo que aprendí de un millonario excéntrico sobre el dinero y cómo lo aplico a rajatabla, haciendo que cada año venda más en cualquier negocio en el que me meta. Te lo cuento al detalle.
- Un negociador del FBI que sabe más de cómo ganar dinero que la mayoría de los empresarios del mundo y cómo aplicarlo para tu negocio. Vendas lo que vendas.
- Cómo crear visiones en la mente de la gente (y lograr citas, ventas, reuniones, etcétera) escribiendo las palabras de una forma muy concreta. Lo verás gracias al anuncio de unas garrapatas.

- Una historia que podrás aplicar a tu vida de forma inmediata y que te convertirá en un líder. Ojo, poca gente se atreverá a hacerlo, pero tener esta información y aplicarla tiene una recompensa infinita.

Y muchas más cosas. Y no como forma de hablar, muchas más cosas… Dentro.

Víctor Heras 

Prólogo de Anxo Pérez

500 000

SEGUIDORES EN 5 MESES





Cómo crecí en redes sociales sin ninguna experiencia

Aprende a crear contenido viral y ganar (mucho) dinero con tu marca online



alienta
EDITORIAL

500.000 seguidores en 5 meses

Heras, Víctor
9788413442389
308 Páginas

Cómpralo y empieza a leer

TE VOY A EXPLICAR PASO POR PASO CÓMO CRECER EXPONENCIALMENTE EN REDES SOCIALES Y, LO MÁS IMPORTANTE, A GANAR MUCHO DINERO CON ELLAS

Sin invertir un solo euro en publicidad, **Víctor Heras consiguió más de 500.000 seguidores en cinco meses**. Gracias a una metodología propia, vas a aprender exactamente cómo lo hizo, cómo funcionan las redes sociales y cómo hacer contenido viral que atraiga nuevos clientes.

En estas páginas aprenderás cuáles son las formas más eficaces para conseguir seguidores, **cómo crear una imagen única para diferenciarte de los demás**, cómo elaborar un mensaje potente para que tus vídeos se hagan virales **o cómo grabar y publicar contenido**. También te ofrece *hacks* para potenciar tus vídeos y estrategias para fidelizar a tu comunidad.

Descubre la habilidad más demandada en los próximos años, la estrategia en marca personal, para aplicarla en tu propio negocio o para darla como un servicio a otros clientes. **¿Estás preparado para conseguir 500.000 seguidores en cinco meses?**

Cómpralo y empieza a leer